

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta
Katedra učitelství a didaktiky chemie

Studijní program: Vzdělávání v chemii



Organokovové sloučeniny ve výuce chemie

Organometallic Compounds in Chemistry Education

Disertační práce

Mgr. František Houser

Školitel: doc. RNDr. Helena Klímová, CSc.

Konzultant: prof. RNDr. Petr Štěpnička, Ph.D.

Praha, 2017

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně pod vedením své školitelky doc. RNDr. Heleny Klímové, CSc. a za pomoci konzultanta prof. RNDr. Petra Štěpničky, Ph.D. a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 10. 9. 2016

Podpis:

Klíčová slova

Organokovové sloučeniny, výuka chemie, výkladový text, testové úlohy, střední škola.

Abstrakt

Práce se věnuje problematice organokovových sloučenin ve výuce chemie na českých středních školách. V rámci práce je analyzováno jaký prostor ve výuce dávají tomuto tématu rámcové a školní vzdělávací programy. Dále jsou v práci z hlediska tématu organokovových sloučenin analyzovány běžně používané středoškolské učebnice chemie a orientačně zjištěn zájem pedagogů o nově připravené materiály k tomuto tématu. Jako reakce na závěry provedených analýz byl připraven výkladový text k tématu organokovových sloučenin určený pro pedagogy, kteří jej mohou využít k vlastnímu vzdělávání i k přípravě výuky. Druhým hlavním výstupem této práce je sada testových úloh vztahujících se k vytvořenému výkladovému textu o organokovových sloučeninách. Tyto úlohy nejsou určené jen pro testování zvládnutí tématu organokovových sloučenin žáky, ale slouží také jako návrh úrovně zvládnutí tohoto tématu, které by žáci zejména gymnázií a středních odborných škol, měli dosáhnout. Výkladový text i sada testových úloh byly ověřeny u pedagogů vyučujících chemii prostřednictvím přímých rozhovorů a následně do nich byly zapracovány připomínky vzešlé z rozhovorů.

Abstract

The thesis is devoted to organometallic chemistry teaching problematics at Czech secondary schools. In this thesis it is analyzed what space in the schooling is given this theme by educational programs. Furthermore, the thesis are in terms of the theme of organometallic compounds analyzed secondary school textbooks commonly used chemical education, and there is estimated interest of teachers for the newly prepared materials on this topic as well. As a reaction to the conclusions of the analyzes was prepared explanatory text on the topic of organometallic compounds intended for teachers who can use it for their own learning and to prepare their lessons as well. The second main output of this work is a set of test tasks relating to the created explanatory text of organometallic compounds. These questions are not only intended for testing mastering the topic of organometallic compounds by pupils, but also serves as an mastery-level proposal of the topic that students especially in grammar schools and secondary vocational schools should achieve. Explanatory text and a set of test tasks were verified by teachers teaching chemistry through direct interview method and then there were incorporated comments emerged in the interviews into them.

Seznam zkratek

Bi	vyučovací předmět biologie
Bu	butyl
Ch	vyučovací předmět chemie
Cp	cyklopentadienyl
část.	částečně
DDT	dichlorodifenyltrichloroetan
Fy	vyučovací předmět fyzika
Et	ethyl
<i>i</i> -Pr	izopropyl
kap.	kapitola
kat.	katalyzátor
Ma	vyučovací předmět matematika
Me	methyl
MŠMT	Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy
NHC	N-heterocyklický karben
Nj	vyučovací předmět německý jazyk
NÚOV	Národní ústav odborného vzdělávání
OPPA	Operační program Praha – adaptabilita
PCB	polychlorované bifenily
Ph	fenyl
Pr	propyl
prac. listy	pracovní listy
PřF	Přírodovědecká fakulta
roč.	ročník

RVP	Rámcový vzdělávací program
RVP–G	Rámcový vzdělávací program pro gymnázia
sl.	sloučenina
SPGŠ	Střední pedagogická škola
SPŠ	Střední průmyslová škola
ŠVP	Školní vzdělávací program
THF	tetrahydrofuran
ÚÚVPP	Ústřední ústav pro vzdělávání pedagogických pracovníků
VOŠ	Vyšší odborná škola
VŠCHT	Vysoká škola chemicko-technologická
VÚOŠ	Výzkumný ústav odborného školství
ŽP	životní prostředí

Obsah

Klíčová slova	3
Abstrakt	4
Seznam zkratk	6
Úvod a cíle práce	11
1 Z historie organokovových sloučenin	13
1.1 První organokovová sloučenina	13
1.2 σ -vazebné organokovové sloučeniny	13
1.3 Karbonyly kovů a chemická katalýza první poloviny 20. století	16
1.4 π – komplexy kovů	17
1.5 Objev násobných vazeb uhlík-kov a zlatý věk chemické katalýzy (1961-1981)	22
1.6 1970-1985 aktivace vazeb C-H v uhlovodících, metateze σ -vazeb a H_2 jako ligand ..	27
1.7 Organokovové sloučeniny s vlivem na fyziologii	30
1.8 Současné trendy	31
2 Určující kurikulární dokumenty a vymezení obsahu učiva	35
2.1 Organokovové sloučeniny v Rámcových vzdělávacích programech	35
2.2 Katalog požadavků zkoušek společné části maturitní zkoušky	36
2.3 Organokovové sloučeniny ve Školních vzdělávacích programech	37
3 Analýza učebnic	42
3.1 Kriteria hodnocení středoškolských učebnic	42
3.2 Metoda použití rastru	43
3.3 Výběr učebnic pro hodnocení	49
3.4 Hodnocení učebnic	50
3.5 Závěry, které plynou z hodnocení českých středoškolských učebnic	67
4 Dotazníkové šetření v rámci projektu Přírodní vědy a matematika na středních školách v Praze: aktivně, aktuálně a s aplikacemi	69
5 Závěry provedených analýz a úvod k didaktickému výkladovému textu	73
6 Výkladový text o organokovových sloučeninách	77

6.1	ÚVOD K ORGANOKOVOVÝM SLOUČENINÁM	77
6.1.1	Vymezení organokovových sloučenin	77
6.1.2	Rozdělení organokovových sloučenin	78
6.1.3	Názvosloví organokovových sloučenin	80
6.2	IONTOVÉ ORGANOKOVOVÉ SLOUČENINY	81
6.2.1	Organokovové sloučeniny alkalických kovů	82
6.2.2	Organokovové sloučeniny kovů alkalických zemin	82
6.3	KOVALENTNÍ ORGANOKOVOVÉ SLOUČENINY	84
6.3.1	11. skupina (Cu, Ag, Au)	85
6.3.2	12. skupina (Zn, Cd, Hg).....	86
6.3.3	13. skupina (B, Al, In, Ga, Tl).....	87
6.3.4	14. skupina (Si, Ge, Sn, Pb)	90
6.3.5	15. skupina (As, Sb, Bi)	94
6.3.6	16. skupina (Se, Te)	96
6.4	ORGANOKOVOVÉ SLOUČENINY PŘECHODNÝCH KOVŮ.....	98
6.4.1	Alkylové a arylové komplexy přechodných kovů	102
6.4.2	Karbenové a karbynové komplexy přechodných kovů	106
6.4.3	π – komplexy přechodných kovů	110
6.4.4	Metaloceny a sandwichové sloučeniny.....	117
7	Soubor úloh k tématu organokovové sloučeniny.....	123
8	Vyhodnocení vytvořeného výkladového textu a sady testových úloh.....	137
8.1	Řízený rozhovor a jeho struktura	137
8.2	Tvorba rozhovoru.....	139
8.3	Realizace rozhovorů	143
8.4	Vyhodnocení rozhovorů.....	143
9	Diskuse	161
10	Závěr.....	164

11	Citovaná literatura.....	165
12	Seznam příloh.....	171

Úvod a cíle práce

Přírodní vědy včetně předmětu chemie nepatří v současné době mezi oblíbené a preferované předměty. Výuka chemie proto zůstává z hlediska náplně ve starých osvědčených kolejích a náplň předmětu se spíše jen redukuje než, aby se aktualizovala novými poznatky s postupujícím vývojem ve světě vědy. Ve výuce se upouští od bližšího vysvětlení základů chemických principů a omezuje se pouze na výklad nejvýznamnějších sloučenin s maximálním dopadem do běžného života a jejich konkrétního využití.

Organokovové sloučeniny a na ně navazující chemická katalýza jsou témata, která jsou velmi aktuální a přesto, že se v běžném životě tyto sloučeniny nedostanou lidem do ruky přímo sami o sobě, produkty výrob, pro něž jsou organokovové sloučeniny nezbytné, ovlivňují život a určují životní standard obyvatel zejména vyspělých zemích více, než si mnoho z nich dokáže připustit.

Přesto se ale tomuto tématu ve výuce věnuje jen málo pozornosti a podobně je tomu i v dostupných středoškolských učebnicích. Údajně je toto téma velmi obtížné. Je pravda, že pro výklad organokovových sloučenin je nezbytný základ z určitých oblastí obecné, anorganické a organické chemie, přesto ale podle mého soudu není z hlediska složitosti myšlenkových operací nutných k jeho pochopení náročnější než jiná témata, např. sacharidy nebo základy biochemie. Úlohou didaktiky je zjednodušit vědecké poznatky a přiblížit je žákům a studentům na různých stupních vzdělávání. Náplní této disertační práce je téma organokovových sloučenin a jeho upravení a přiblížení potřebám středoškolského vzdělání.

Hlavním cílem disertační práce *Organokovové sloučeniny ve výuce chemie* je prozkoumat možnosti výuky tématu organokovových sloučenin na středních školách a vytvořit nové didaktické texty, ze kterých by učitelé mohli při výuce tohoto tématu vycházet. Tohoto cíle bude dosaženo naplněním dílčích cílů této práce:

- Analyzovat z hlediska obsahu tématu organokovových sloučenin určující kurikulární dokumenty.
- Analyzovat z hlediska obsahu tématu organokovových sloučenin dostupné středoškolské učebnice chemie.
- Analyzovat současný stav vědy poznání v oblasti organokovových sloučenin.
- Vytvořit didaktické texty k podpoře výuky tématu organokovových sloučenin tak, aby měly odpovídající odbornou a didaktickou úroveň, aby zahrnovaly důležité principy chemických dějů, aby zdůraznily příklady sloučenin s významným dopadem do praxe a běžného života a aby zohledňovali vztah k životnímu prostředí.

- Navrhnout úroveň zvládnutí tématu organokovových sloučenin odpovídající střední škole
- Získat zpětnou vazbu od vyučujících ohledně úrovně zpracování a možností použití vytvořených didaktických textů a na základě tohoto hodnocení didaktické texty případně upravit do finální podoby.

Výuka organokovových sloučenin zasluhuje pozornost proto, že by vzdělání předávané žákům mělo být aktuální a proto je potřeba se tomuto tématu věnovat systematicky. Navíc lze předpokládat, že důležitost těchto sloučenin bude do budoucna dále nabývat na významu.

1 Z historie organokovových sloučenin

1.1 První organokovová sloučenina

Ačkoliv bouřlivý rozvoj organokovové chemie nastal až v druhé polovině dvacátého století zejména v Anglii, Německu a Spojených Státech, první organokovová sloučenina byla připravena již v r. 1760 v Paříži. Vojenský lékárník Cadet obdržel tzv. *kakodyl* jako dýmající čpavou substanci, která vykazovala charakteristiky organokovových sloučenin. (Astruc, p. 5) Avšak kakodyl se nepovažuje za první organokovovou sloučeninu, protože nebyla izolována jako jediná chemicky čistá látka a nebylo odhaleno její složení.

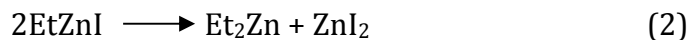
Cadet původně pracoval se solemi kobaltu, aby vytvořil neviditelný inkoust. Převodl dvě běžné rudy kobaltu smaltin (CoAs) a kobaltin (CoAsS_2), obě obsahující arsen, do kyselého roztoku a jako jeden z produktů vznikl oxid arsenitý (As_2O_3). Tento velmi jemný prášek přidal ke stejnému množství octanu draselného a pomalu zahříval. Po nějaké době se objevila slabě zbarvená kapalina s extrémně pronikavým zápachem česneku. Při dalším zahřívání změnila kapalina barvu v červenohnědou a vyplnila baňku hustou parou. Prvně vznikající kapalina bouřlivě reagovala s alkáliemi, přičemž vznikala nesnesitelný zápach česneku. Ani nejsilnější ocet nedokázal vymýt zápach česneku z použitého nádobí. Zápach vyčpěl až po několika měsících větrání na čerstvém vzduchu. Druhá červenohnědá kapalina se usazovala u dna, až se po určité době stala čirou, a na dně se vysrážela žlutá substance, kterou Cadet považoval za kov. V roztoku zůstávala kapalina s lehce jantarovou barvou, která byla lehčí než původní červenohnědá kapalina, nad níž plavala. Obě kapaliny byly mírně rozpustné ve vodě, při přístupu vzduchu dýmaly jako fosfor a při jejich rozlití došlo k samovznícení.

Dnes můžeme s jistotou říci, že v r. 1760 nebylo možné objasnit komponenty Cadetovy kapaliny. Podrobnosti o těchto kapalinách publikoval Bunsen v r. 1837. Celkově byly nalezeny tři vrstvy produktů. Na dně zůstává znatelné množství vyredukovaného arsenu, v prostřední vrstvě je hnědá olejovitá kapalina sestávající zejména z *alkarsinu*, což je substance arsenu obsahující elementy $\text{C}_4\text{H}_{12}\text{As}_2$, alkohol a další látky, a horní vrstva je roztok alkarsinu ve vodě, acetonu a kyselině octové. Berzelius později změnil Bunsenův název *alkarsin* na *cacodyl*, který se v češtině ujal jako kakodyl. Tento název byl vytvořen z řeckých kořenů slov *zhoubný*, *zlo* a *zápach*. Asi sto let po Cadetově přípravě bylo objasněno, že hlavní komponentou kakodylu je tetramethyldiarsin ($\text{Me}_2\text{As}-\text{AsMe}_2$), (Omae, p. 9).

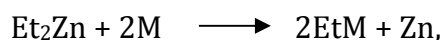
1.2 σ -vazebné organokovové sloučeniny

V padesátých letech 19. století Brit Edward Frankland syntetizoval několik alkylových komplexů kovů, jako např. ZnEt_2 , HgEt_2 , SnEt_4 , z nichž rtuťnaté a zinečnaté komplexy byly okamžitě použity pro přípravu dalších komplexů kovů

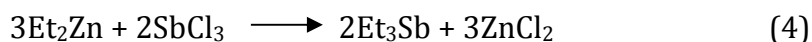
hlavních skupin, (Astruc, p. 5, Elsenbroich a Salzer, p. 1). Frankland syntetizoval organozinečnaté sloučeniny přímou reakcí alkylodidu se zinkem v r. 1849, jak popisují rovnice 1 a 2.



Od té doby tato syntetická reakce představuje dva důležité výsledky pro vývoj organokovové chemie. Prvním je objev přímé reakční metody alkylhalogenidů s kovy. Druhým je možná syntéza rozličných organokovových sloučenin *transmetalací*, viz rovnice 3, nebo *metatezí*, viz rovnice 4, organozinečnatých sloučenin s dalšími kovy nebo jejich sloučeninami.

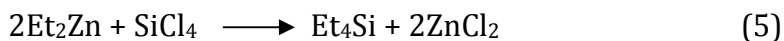


kde M = K, Na, Rb, Cs (3)



Organozinečnaté sloučeniny se používaly jako Franklandova činidla v organické syntéze, dokud se nezačala na počátku 20. století používat Grignardova činidla, která mají sice vyšší reaktivitu než Franklandovy reagenty, ale zachází se s nimi snadněji, takže tato činidla postupně organozinečnaté sloučeniny nahradila. Frankland syntetizoval také organortuťnaté sloučeniny reakcí alkylhalogenidu s amalgámem sodným, které se používaly podobně jako organozinečnaté sloučeniny pro syntézu dalších organokovových sloučenin. Protože jsou tyto sloučeniny vysoce toxické, byly také postupně nahrazeny Grignardovými činidly, (Omae, p. 12).

Organokřemičité sloučeniny byly připraveny reakcí organozinečnatých činidel s chloridem křemičitým v r. 1861, jak popisuje rovnice 5. Avšak v r. 1941 Rochow vyvinul přímou reakční metodu s mědí jako katalyzátorem, kterou se snadno připravovala velká množství organokřemičitých sloučenin, (Elsenbroich a Salzer, p. 3, 100). Tak se organokřemičité sloučeniny staly snadno dostupné a mezi organokovovými sloučeninami vyráběné v největším množství. V r. 1994 se jich vyrobilo více než 600 tisíc tun.

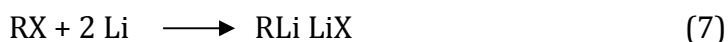
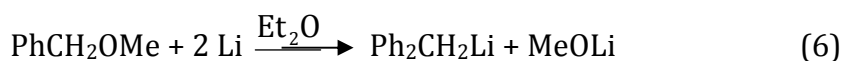


Frankland a Lövig syntetizovali v r. 1852 také organocínité sloučeniny reakcí alkylhalogenidu s cínem a amalgámem sodným. Asi za devadesát let se organocínité sloučeniny začaly používat ve velkých množstvích, protože Yngve objevil, že jsou účinnými stabilizátory polyvinylchloridových pryskyřic. V r. 1993 se vyrobilo asi 45 tisíc tun organocínitých sloučenin, (Omae, p. 13).

V r. 1853 Lövig syntetizoval organoolovičité sloučeniny podobně jako organocínité sloučeniny, tedy reakcí alkylhalogenidu s olovem a amalgámem sodným. V r. 1922 Midgeley a spolupracovníci ve společnosti General Motors Company objevili, že je tetraethylolovo účinné jako antidetonační přísada do benzínu. Po té se produkce tetraethylolova stala celkově největší ze všech organokovových sloučenin. Kvůli ochraně životního prostředí je ale ve vyspělých zemích použití této sloučeniny z velké části omezené a její produkce drasticky poklesla.

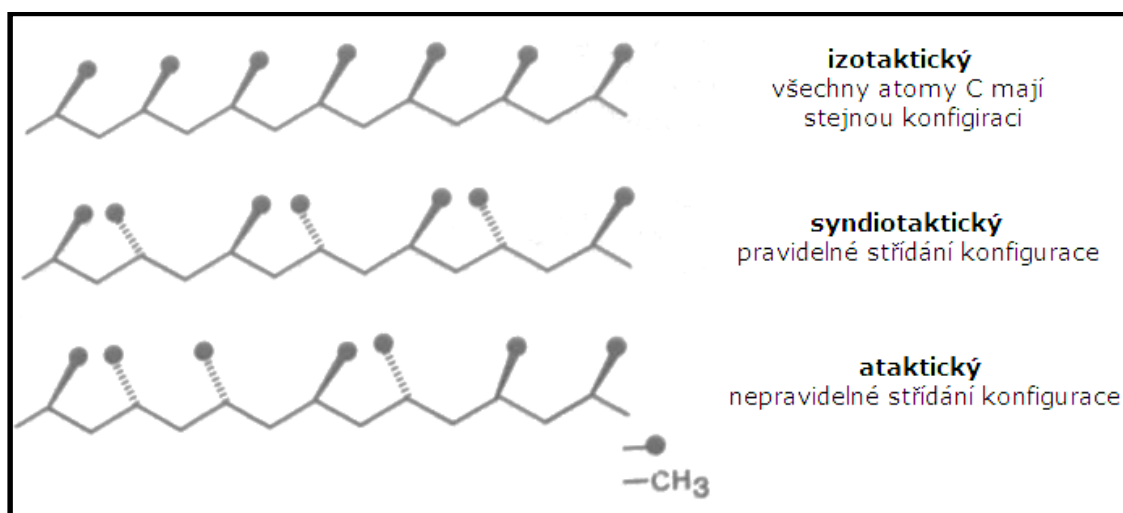
Francouzský organický chemik Philippe Barbier přiměl svého studenta Victora Grignarda, aby pracoval na výzkumu syntézy terciárních alkoholů s využitím hořčíku. Grignard se kvůli základnímu výzkumu rozhodl nejprve izolovat organohořčnatou sloučeninu. Grignard našel článek, ve kterém Frankland a Wanklyn popisovali, jak snadno se zachází s organozinečnatými sloučeninami v etheru a použil ether na stabilizaci organohořčnatých sloučenin. Sloučeninu známou jako Grignardovo činidlo publikoval v r. 1900 a v r. 1912 byl za její objev oceněn Nobelovou cenou. Grignardova činidla je možné používat již za běžných teplot a atmosférického tlaku, jejich reaktivita je vysoká a celkově se v organosyntetické chemii používají v nejširším měřítku.

Německý chemik Karl Ziegler podpořil širší využití organolithných sloučenin tím, že navrhl v r. 1930 jednodušší způsob jejich přípravy, který zachycuje rovnice 6. V současnosti se tyto sloučeniny připravují reakcí podle rovnice 6, jejímž autorem je H. Gilman, (Elsenbroich a Salzer, p. 3).



Ziegler zkoumal reakce, ve kterých se alken vkládá do vazby uhlík-kov, a jak triethylaluminium reaguje s ethylenem za vyššího tlaku. Protože neobdržel polymer, ale pouze dimer butenu, zkoumal příčiny detailně a objevil, že to bylo kvůli sloučenině niklu na stěně špatně umyté reakční nádoby. Po té zkoumal vliv široké škály kovů na polymerizaci a objevil, že ethylen polymerizuje za běžné teploty a atmosférického tlaku v přítomnosti sloučenin titanu jako katalyzátoru, (Omae, p. 14). Tyto poznatky byly publikovány v r. 1955. Italský chemik Gulio Natta využil těchto poznatků a uspěl při polymerizaci propylenu. Ve výzkumu Zieglerových katalyzátorů pokračovalo mnoho vědců a byly vyvinuty výroby polybutadienu a polyizoprenu. Stereospecifičnost polymerace propylenu byla nejprve přičítána efektům na povrchu heterogenního iniciátoru reakce, ale tato interpretace byla později vyvrácena. V současnosti se usuzuje, že stereospecifičnost polymerizace ovlivňuje typ a uspořádání ligandů a druh kovu v molekule katalyzátoru. Vhodnou volbou katalyzátoru pak vzniká izotaktický, syndiotaktický, ataktický a další druhy polypropylenu. Některé typy takticity

polypropylenu jsou znázorněny na Obr. 1.1. Ziegler a Natta obdrželi za své katalyzátory Nobelovu cenu v r. 1963 (Astruc, p. 9). Od té doby se organohlinité sloučeniny používají v mnoha obdobách jako katalyzátory polymerizace a jsou vyráběné v podobných objemech jako organocínité sloučeniny (McMurry, 2007).



Obr. 1.1: Takticita polypropylenu, upraveno dle (Elsenbroich a Salzer, p. 421)

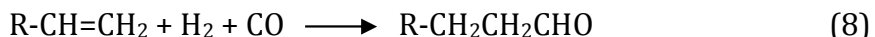
1.3 Karbonyly kovů a chemická katalýza první poloviny 20. století

Při výrobě uhličitánu sodného Solvayovým procesem Ludwig Mond zkoumal příčinu abnormálně zkorodovaných ventilů, jejichž materiál obsahoval nikl. Postupně objevil, že s nimi reagoval oxid uhelnatý obsažený v oxidu uhličitém jako jednom z meziproduktů. Tak v r. 1890 objevil první binární karbonyl kovu – tetrakarbonyl nikl ($[\text{Ni}(\text{CO})_4]$). Tomuto objevu předcházela karbonyl $[\text{Pt}(\text{CO})_2\text{Cl}_2]$ složený ze tří komponent a objevený Schlutserbergerem v r. 1869, (Elsenbroich a Salzer, p. 2, Astruc, p. 5). Rozkladná reakce $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$ probíhá při teplotě vyšší než 150 °C, přičemž se uvolňují jeho složky – oxid uhelnatý a kovový nikl, což se využívá při procesech s přípravou niklu ve vysoké čistotě. Za objevem karbonylů niklu následoval v r. 1891 objev karbonylu železa a mnoho dalších.

Kolem r. 1925 byl vyvinut *Fisher-Tropschův proces*, jehož produktem byly hlavně kapalně uhlovodíky a jako suroviny sloužily oxid uhelnatý a vodík. Tento proces probíhal při 180-300 °C, tlaku 1-300 atm a v přítomnosti sloučenin niklu, kobaltu a železa jako katalyzátorů. Tímto procesem se v Německu vyráběl syntetický petrolej, avšak do současnosti přetrvávalo jeho využití ve státní koncepci pouze v Jihoafrické republice. V této reakci vystupují karbonyly kovů jako meziprodukty.

V r. 1938 Roelen vyvinul *oxo-proces*, který produkuje aldehydy reakcí alkenů s oxidem uhelnatým a vodíkem, viz rovnice 8, v přítomnosti karbonylů kobaltu jako katalyzátorů.

Při oxo-procesu se formálně aduje atom vodíku (H) a formyl (HCO) na dvojnou vazbu alkenů, proto se mu také říká *hydroformylace*, (Elsenbroich a Salzer, p. 434).



Reppe vyvinul Reppeho reakci, což jsou karbonylace, vinylace, ethynylace a cyklizace reakcí acetyleny s oxidem uhelnatým, vodou, alkoholy, aminy, aldehydy, ketony atd. Od r. 1952 se touto reakcí s alkeny na místo acetyleny vyrábí alkoholy. Tato reakce, již souhrnně popisuje rovnice 9, se nazývá nový Reppeho proces, který se průmyslově využívá převážně pro výrobu butanolu.



V r. 1956 H.C. Brown objevil *hydroboraci*, která produkuje organokovové sloučeniny boru adicí hydridů boru, jako je diboran, a alkyl boranů na alkeny, viz rovnice 10. Hydroborace probíhá lehce a organokovové sloučeniny, které produkuje, jsou snadno dostupné. Hydroborace má největší význam pro výrobu primárních alkoholů, (Elsenbroich a Salzer, p. 60; Omae, p. 20).



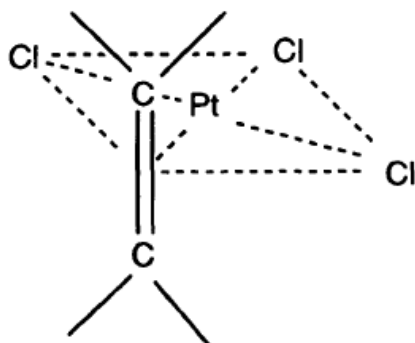
Podobně jako hydroborace byly objeveny reakce hydridů křemíku, germania, cínu a olova. Jejich reakce se pak nazývají hydrosilylace, hydrogermanace, hydrostannace a hydroplumbylace. Tyto reakce probíhají snadno, i když R v předchozí rovnici představuje funkční skupiny. Proto jsou tyto reakce vhodné pro syntézu organokovových a organických sloučenin s funkční skupinou v jednom reakčním kroku.

1.4 π – komplexy kovů

Jednou z klíčových událostí v organokovové chemii byl objev tzv. *Zeiseho soli*, $\text{K}^+[\text{C}_2\text{H}_4\text{PtCl}_3]^-$. Jde o první komplex kovu, který byl izolovaný jako samostatná organokovová sloučenina a Zeise její objev publikoval v r. 1827, (Elsenbroich a Salzer, p. 1). Zároveň je Zeiseho sůl prvním z π -komplexů, ve kterých se ligand obsahující násobnou vazbu nekoordinuje k atomu kovu přímo některým ze svých atomů, ale vazba směřuje od kovu právě do prostoru mezi oběma atomy ethylenového ligandu, kde je největší hustota π -elektronů násobné vazby.

Zeise připravil svou sůl tak, že nejprve zahříval ethylalkohol se směsí PtCl_2 a PtCl_4 , pak nadbytek alkoholu oddestiloval a nechal zbytek reagovat s vodným roztokem KCl za vzniku soli. Tato sůl tvoří obvykle monohydrát, ale krystalovou vodu je možné oddělit suchým vzduchem nebo vakuem. Správná struktura této látky, znázorněná na Obr. 1.2, byla objasněna až v r. 1868, když Birnbaum syntetizoval Zeiseho sůl reakcí ethyleny s H_2PtCl_6 a prokázal, že se jedná o komplex ethyleny. Na π -koordinační strukturu Zeiseho soli se usuzuje na základě

měření IR spektra a dipólového momentu. V r. 1954 byla její struktura určena také rentgenovými difrakčními studiemi, (Omae, p. 15).



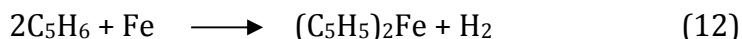
Obr. 1.2: Struktura Zeiseho soli $[\text{PtCl}_3 \cdot \text{C}_2\text{H}_2]$, převzato z (Wunderlich, a další, 1954)

Dále byly syntetizovány také Zeiseho soli podobné platinové soli obsahující místo ethyleny propylen a amylen. V r. 1919 Hein poprvé syntetizoval kovový komplex s aromatickou sloučeninou reakcí PhMgBr s CrCl_3 . Avšak tento komplex chromu byl dlouho považován za komplex se σ -vazbou mezi atomem chromu a benzenem. Struktura tohoto komplexu nebyla objasněna, dokud nebyla stanovena struktura ferrocenu, viz dále.

Ferrocen (bis(π -cyklopentadienyl)železo) byl syntetizován dvěma výzkumnými skupinami, které o něm své články podali téměř ve stejnou dobu v r. 1951. Kealy a Pauson syntetizovali tento komplex reakcí Grignardova činidla – cyklopentadienylmagnesiumbromidu – s chloridem železitým. Grignardova činidla mají redukční účinky na chlorid železitý. V reakci CpMgBr s FeCl_3 se počítá, že CpMgBr v nadbytku reaguje s chloridem železnatým, který vznikl redukcí chloridu železitého tímto Grignardovým činidlem v prvním kroku, jak popisuje rovnice 11.

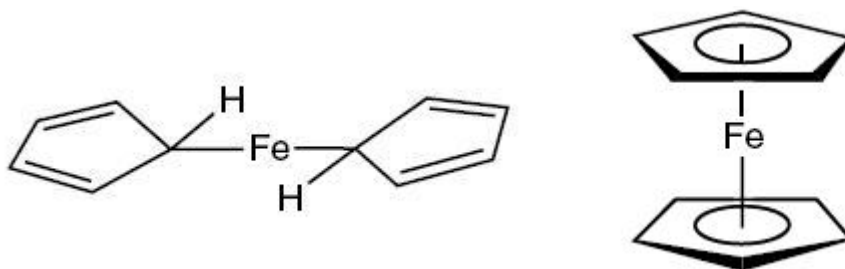


Miller získal ferrocen jiným způsobem, a to reakcí cyklopentadienu a železného prášku v dusíkové atmosféře při 300 °C, kterou popisuje rovnice 12.



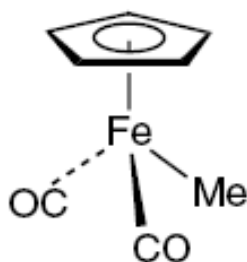
Oba výzkumné týmy, které připravili ferrocen, poukázaly na abnormální stabilitu tohoto komplexu vůči teplu a vzduchu (např. bod tání má při 172,5 – 173 °C bez dekompozice), ale oba týmy předpokládaly σ -vazbu mezi cyklopentadienyly a železem, jak je znázorněno na Obr. 1.3 vlevo, (Omae, p. 15). To však bylo v rozporu s 18-elektronovým pravidlem, které publikoval Sidgwick v knize *The Electronic Theory of Valency* (1927). Wilkinson a kol. navrhli sandwichovou strukturu této sloučeniny, která je na Obr. 1.3 vpravo, kvůli jejímu paramagnetismu, nulové polarizovatelnosti a protože IR spektra vykazovala pouze vibrace vazeb C-H.

Taková struktura ferrocenu již splňuje 18-elektronové pravidlo, jeho oba cyklopentadienové kruhy se koordinují k atomu železa svými π -elektrony, jsou rovnoběžné a mají aromatické vlastnosti, (Astruc, p. 7).



Obr. 1.3: Ferrocen: nesprávná Pausonova struktura (vlevo) a Wilkinsonova správná sandwichová struktura (vpravo), převzato z (Astruc, p. 9)

Fisher a Phab potvrdili sandwichovou strukturu ferrocenu rentgenovými difrakčními studiemi. Woodward a kol. pojmenovali komplex bis(π -cyklopentadienyl)železo jako ferrocen, protože vykazoval podobnou reaktivitu jako benzen. Toto jméno dalo vzniknout termínu metaloceny jako obecnému názvu pro všechny sandwichové sloučeniny jako jsou např. nikelocen nebo kobaltocen a nakonec i pro komplexy, u nichž je atom kovu sevřený mezi nerovnoběžnými cykly. Další sandwichové struktury jsou připravovány nejen z pětičlenných cyklů, ale i z čtyř, šesti a sedmičlenných cyklů. Např. v r. 1955 Fischer poprvé připravil bisbenzenchrom (Elsenbroich a Salzer, p. 3). Dále existují i metaloceny s tří až sedmičlennými cykly, přičemž oba kruhy mají odlišný počet atomů uhlíku. Byly syntetizovány i polosandwichové struktury pouze s jedním cyklem, kterým se přezdívá *pianové židličky*, protože jejich cyklický ligand připomíná sedátko a ostatní ligandy připomínají nožičky pianové židle. Příkladem je komplex železa, jehož vzorec je na Obr. 1.4.



Obr. 1.4: „Pianová židlička“, převzato z (Astruc, p. 240)

Bylo syntetizováno i mnoho vícevrstevných komplexů kovů, ve kterých jsou tři nebo více vrstev kruhů, mezi nimiž jsou sevřené atomy kovů. První příklad publikovali H. Werner a A. Salzer v r. 1971. Jedná se o komplex odvozený od niklu, jehož struktura je na Obr. 1.6 uprostřed.

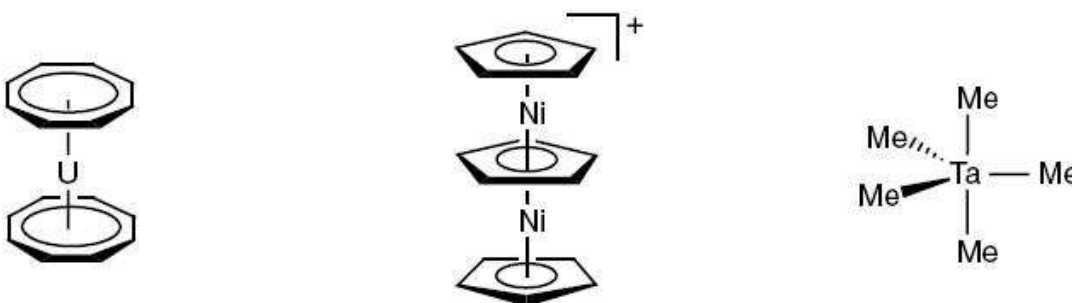
Sloučeniny, ve kterých jsou cykly ferrocenu navíc vzájemně vázány alkylovými řetězci se nazývají ferrocenofan - s jedním můstkem, superferrocenofan - se dvěma

můstky, perferrocenofan a supermůstkový ferrocenofan, které mají cyklopentadienylové cykly spojené pěti můstky, viz vzorec na Obr. 1.5 (Hisatome, a další, 1986).



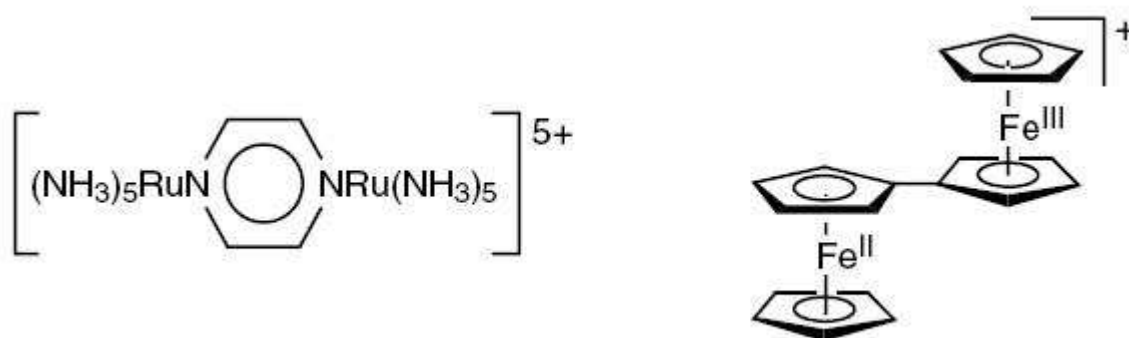
Obr. 1.5: Struktura ferrocenofanu, převzato z (Hisatome, 1986)

V r. 1968 A. Streitweiser a U. Mueller-Westerhoff zveřejnili objevení uranocenu, což je první sandwichový komplex bloku f-prvků se vzorcem na Obr. 1.6 vlevo a v r. 1970 Wilkinson objevil, že alkylové komplexy kovů, které mají méně než 18 valenčních elektronů, jsou stabilní za předpokladu, že nemají β -vodíkové atomy. Příklad takové molekuly je na Obr. 1.6 vpravo.



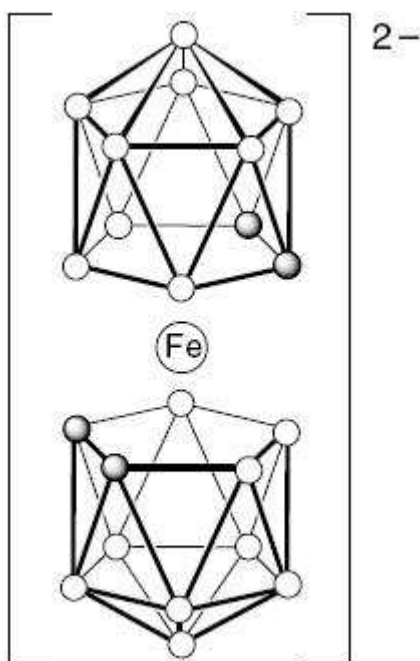
Obr. 1.6: Uranocen (vlevo), první třívrstvý sandwichový komplex (uprostřed), příklad stabilního komplexu bez β -vodíků (vpravo), převzato z (Astruc, p. 13)

Na konci šedesátých let 20. století se objevil koncept *smíšené valence*, který popisuje molekuly, ve kterých se vyskytuje více atomů kovu, přičemž je každý v jiném oxidačním stavu. H. Taube po experimentální stránce a N. S. Hush po stránce teoretické podali přesvědčující vysvětlení tohoto jevu. Taube charakterizoval smíšenou valenční sféru a první *průměrně-valenční* - komplexy obměňováním ligandu L v řadě iontů $[(\text{NH}_3)_5\text{RuLRu}(\text{NH}_3)_5]^{5+}$. Příklad jednoho komplexu je na Obr. 1.7 vlevo, ve kterém je ligandem L pyrazyn. V organometalice byl první komplex se smíšenou valenční sférou, bifferocenium monokation, připraven v r. 1970, viz Obr. 1.7 vpravo (Astruc, p. 12).



Obr. 1.7: První komplexy se smíšenou valenční sférou, převzato z (Astruc, p. 12)

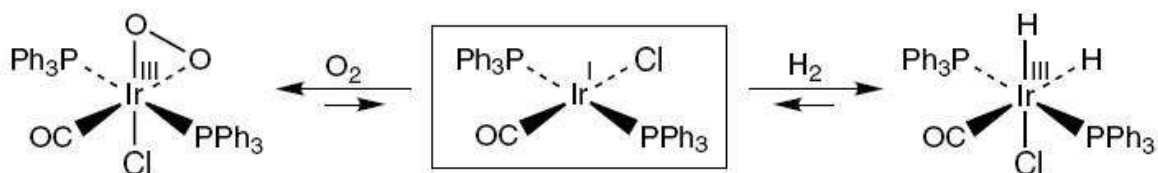
V šedesátých letech 20. století ve Spojených Státech vznikla mimořádná skupina látek, *karborany* a *metalkarborany*. Jejich objevitel byl Frederic Hawthorne (Elsenbroich a Salzer, p. 4) a jejich strukturu objasnil a Nobelovu cenu v r. 1976 získal W. N. Liscomb. V těchto látkách se k atomu kovu nekoordinuje jen planární pětičetný kruh cyklopentadienyly jako ve ferrocenu, ale koordinuje se celá „klec atomů“ s pětiúhelníkovou podstavou. p-orbitaly atomů v podstavě mohou tvořit, podobně jako právě p-orbitaly atomů uhlíku cyklopentadienyly, systém delokalizovaných elektronů, kterými se klec nebo kruh koordinují k atomu kovu. Struktury karboranů existují s různými kovy, např.: Cr, Mo, W, Mn, Re, Co, Ni, Pd, Cu, Au.



Obr. 1.8: Dikarbonyl železo (Hawthorne 1965), převzato z (Astruc, p. 12)

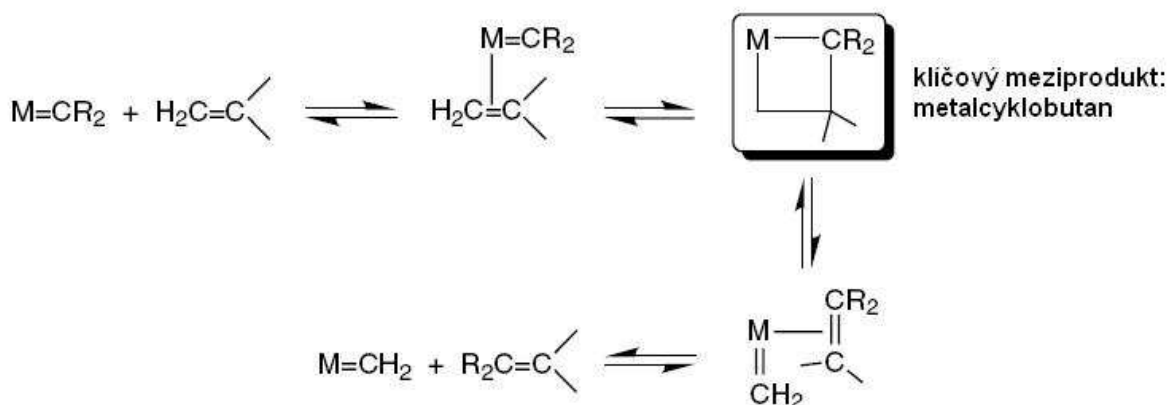
1.5 Objev násobných vazeb uhlík-kov a zlatý věk chemické katalýzy (1961-1981)

V roce 1962 Vaska publikoval šestnáctielektronový komplex $[\text{Ir}(\text{CO})(\text{Cl})(\text{PPh}_3)_2]$ známý pro schopnost reversibilní adice O_2 , H_2 nebo dalších substrátů za zvýšení oxidačního čísla kovu (Elsenbroich a Salzer, p. 4; Astruc, p. 11). Tato reversibilní oxidativní adice, jejíž mechanismus a princip popisuje schéma na Obr. 1.9, je klíčová při využití v katalytických procesech.



Obr. 1.9: Vaskův komplex a oxidativní adice molekuly kyslíku a vodíku (1965), převzato z (Astruc, p. 11)

V roce 1964 byl poprvé představen E. O. Fisherem karbenový komplex s dvojnou vazbou uhlík-kov $((\text{CO})_5\text{W}=\text{C}(\text{OMe})\text{Me})$ (struktura viz Obr. 1.12 vlevo), pro nějž Banks okamžitě našel využití při metatezi alkenů (Elsenbroich a Salzer, p. 4). Yves Chauvin napřed navrhl a později potvrdil mechanismus metateze, při kterém se nenasycený uhlovodík koordinuje na přechodný kov za vzniku metalalkylidenkomplexu, viz Obr. 1.10. Dále dochází k přeměně na metalacyklobutan, který se může rozložit na nový alkyliden a nový alken nebo zpět na původní složky.

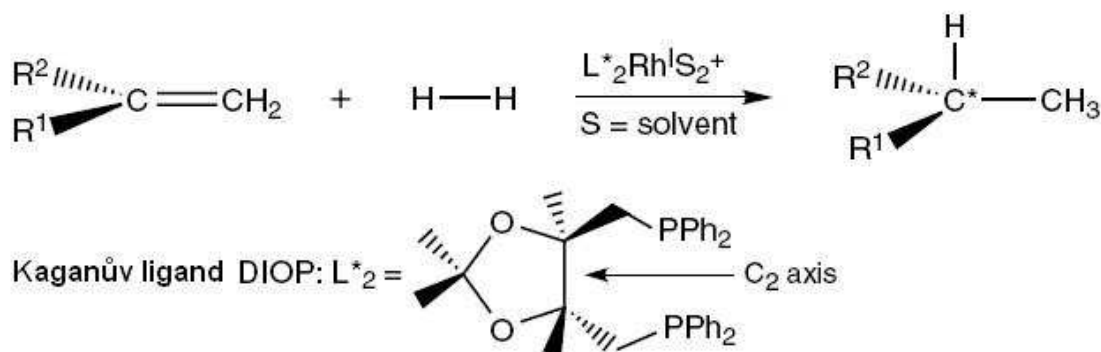


Obr. 1.10: Chauvinův mechanismus metateze, upraveno dle (Astruc, p. 11)

V roce 1965 Wilkinson a Coffey nezávisle na sobě rozřešili homogenní hydrogenaci alkenů (Omae, p. 22). Sloučenina se vzorcem $[\text{Rh}(\text{Cl})(\text{PPh}_3)_3]$ se nazývá Wilkinsonův katalyzátor a používá se k hydrogenacím alkenů a alkynů již za

běžných teplot a atmosférického tlaku. Wilkinson a Fisher byli za svou více než dvacetiletou práci v této oblasti chemie oceněni Nobelovou cenou v r. 1973.

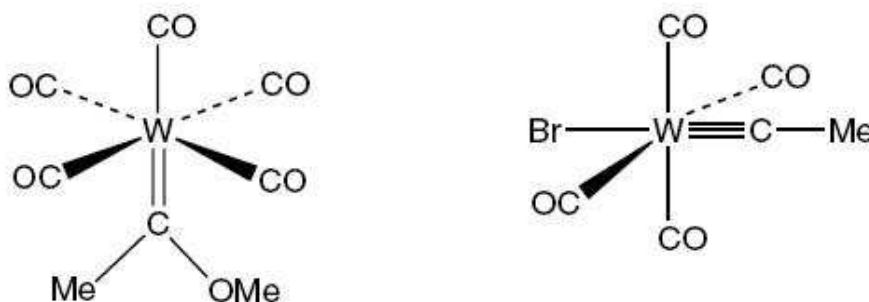
V r. 1970 Henry Kagan patentoval enantioselektivní asymetrický katalyzátor s atomem rhodia, který nese chelatující chirální ligand DIOP. Systematický název ligandu DIOP je 2,3-O-Isopropyliden-2,3-dihydroxy-1,4-bis(difenylfosfino)butan a jeho struktura je zachycena na schématu s principem enantioselektivní hydrogenace na Obr. 1.11 (Sigma-Aldrich, 2016).



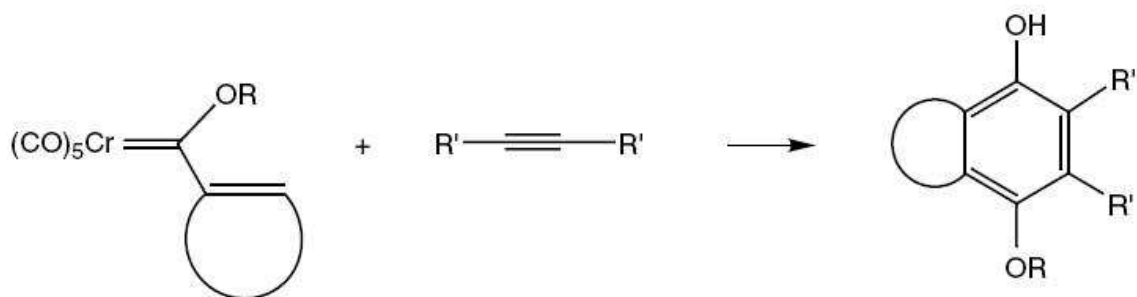
Obr. 1.11: Enantioselektivní katalýza, upraveno dle (Astruc, p. 12)

Důležitou aplikací Kaganových nápadů jsou chelátové komplexy, které katalyzují syntézu *L-DOPA*, léku na Parkinsonovu chorobu, který byl vyvinutý o pět let později Knowlesem ve společnosti Monsanto. Nobelovu cenu v roce 2001 získali Knowles, Noyori a Sharpless za asymetrickou katalýzu (Astruc, p. 12).

V roce, 1973, E. O. Fisher syntetizoval první karbynový komplex (Elsenbroich a Salzer, p. 4; Omae, p. 23), jehož struktura je na Obr. 1.12 vpravo. Významná aplikace Fisherových karbenů v organické syntéze se objevila v r. 1975 s Dötzovou reakcí, jejíž princip popisuje Obr. 1.13, a další v organické syntéze významné aplikace reakcí komplexů přechodných kovů, jako je např. reakce Pauson-Khandova, byly publikovány ve stejném roce.

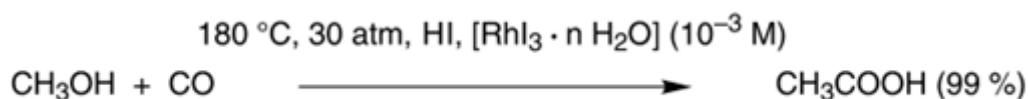


Obr. 1.12: Fisherovy stabilizované komplexy, karbenový komplex vlevo (1964), karbynový komplex vpravo (1973), převzato z (Astruc, p. 13)



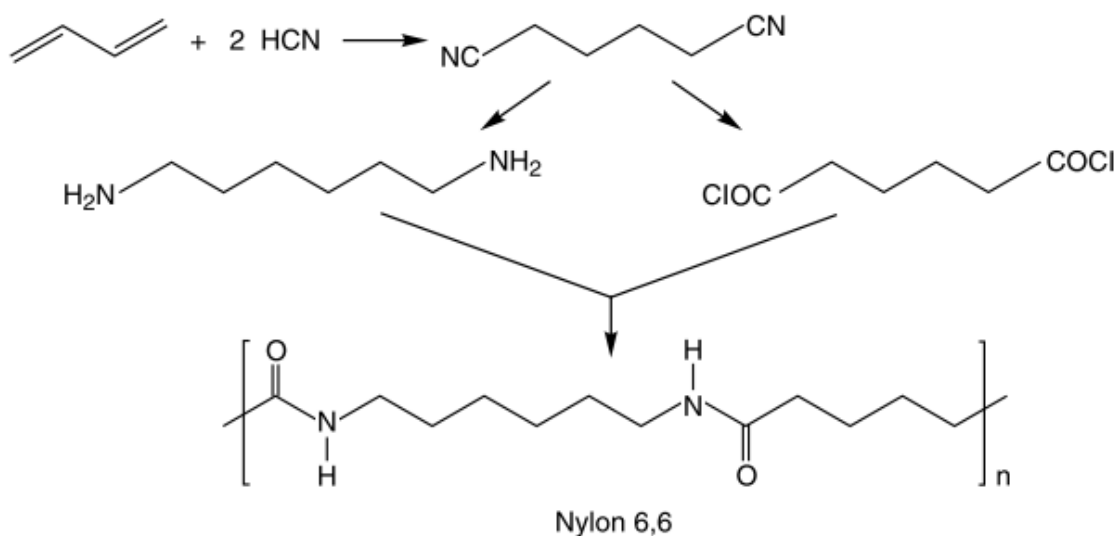
Obr. 1.13: Dötzova reakce, převzato z (Astruc, p. 14)

V r. 1971 Roth a spolupracovníci ve společnosti Monsanto vyvinuli první rhodiumem katalyzovanou karbonylací methanolu za vzniku kyseliny octové. Proces Monsanto transformuje methanol na kyselinu octovou s 99% výtěžností a tímto způsobem se vyprodukuje více než milion tun kyseliny octové ročně, která se používá jako rozpouštědlo při výrobě esterů, při zpracování celulózy a jako acylační činidlo. V procesu Monsanto figurují jako katalyzátory $[\text{RhI}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$ nebo $[\text{RhCl}(\text{CO})(\text{PPh}_3)_2]$ a kokatalyzátorem je HI. Souhrnnou bilancí s podmínkami a katalyzátorem procesu Monsanto popisuje schéma na Obr. 1.14.



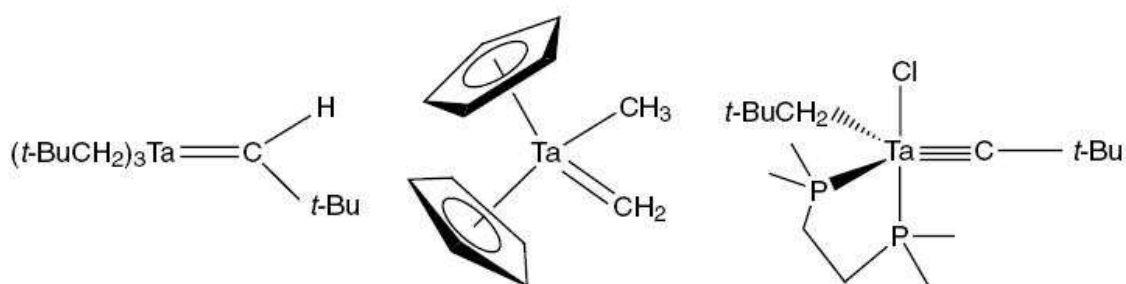
Obr. 1.14: Princip procesu Monsanto, převzato z (Astruc, p. 432)

V r. 1975 byl ve společnosti DuPont de Nemours Company vyroben adiponitril pomocí katalyzované hydrokyanace butadienu. Hydrokyanace je formálně adice HCN na dvojnou vazbu alkenů, což je velmi užitečná reakce, protože ze vznikajících nitrilů (-CN) se vyrábí aminy a karboxylové kyseliny. Hydrokyanaci katalyzují některé komplexy přechodných kovů, hlavně niklu a palladia. Důležitou aplikací hydrokyanace je převedení butadienu na diamin a dichlorid, schematicky znázorněno na Obr. 1.15, která umožňuje výrobu slavného polyamidu – nylonu 6,6.



Obr. 1.15: Hydrokyanace a výroba nylonu 6,6, upraveno dle (Astruc, p. 363)

V r. 1974 Richard Schrock, bývalý student Johna Osborna na Harvardu, ve společnosti DuPont de Nemours Company v Delaware, oznámil izolování a rentgenovou analýzou stanovenou strukturu neopentylidenového komplexu - prvního karbenu přechodného kovu, který není stabilizovaný heteroatomem na atomu uhlíku. Struktura tohoto komplexu je na Obr. 1.16 vlevo. Celá skupina sloučenin odvozených od Schrockova karbenu přinesla později nové možnosti na poli metatetických reakcí. V r. 1975 Schrock publikoval izolování a strukturu prvního methylenového komplexu, která je na Obr. 1.16 uprostřed. Tento Schrockův „ylid“¹ se vskutku ukázal jako schopný přenést methylen na aldehydy a ketony. Další podobná činidla schopná přenosu methyleny následovala, např. Tebbeho komplex $[\text{TiCp}_2(\mu\text{-Cl})(\mu\text{-CH}_2)\text{AlMe}_2]$ a později částice $[\text{TiCp}_2(=\text{CH}_2)]$. V r. 1976 Schrock publikoval první syntézu alkylidynového komplexu, jehož struktura je na Obr. 1.16 vpravo, ve kterém má alkylidynový ligand nukleofilní charakter.



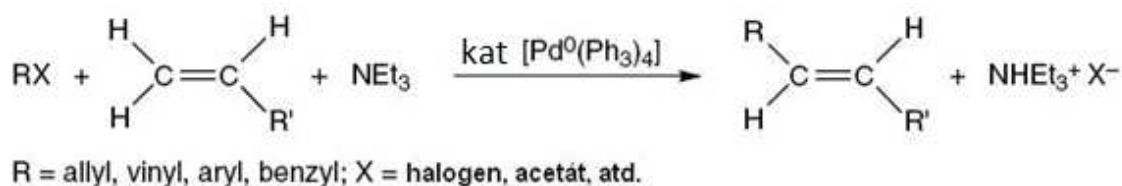
Obr. 1.16: Zleva - první alkylidenenový komplex, první methylenový komplex a první nukleofilní alkylidynový komplex (Schrock, 1974, 1975, 1976), převzato z (Astruc, p. 14)

¹ ylid je sloučenina, v jejíž molekule se vyskytuje kladný i záporný náboj (Elsenbroich a Salzer, p. 180)

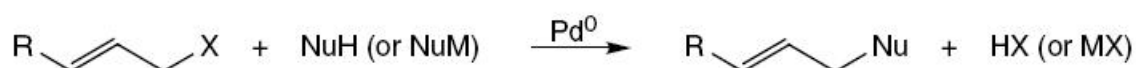
Schrock také předvedl, že se některé alkylideny tantalu a wolframu mohou účastnit metateze nenasycených uhlovodíků, pokud obsahují alkoxy ligand a v r. 1990 publikoval celou skupinu velmi aktivních wolframových katalyzátorů schopných metateze včetně chirálních aplikací, které ho ve spolupráci s Hoveydou vedli k objevu prvních enantioselektivních metatezí (Astruc, p. 380).

V r. 1977 Henry Kagan zveřejnil praktickou syntézu výborného redukčního činidla SmI_2 , které umožnilo mnoho aplikací v organické syntéze jako např. pseudo-Barbierovu reakci, Reformantskyho reakci, tvorbu pinacolů a deoxygenaci epoxidů a sulfoxidů (Astruc, p. 14). Kagan pokračoval se svou skupinou ve výzkumu a navíc na něj navázali i další chemici. S použitím SmI_2 s nenasycenými substráty tak byly následně odvozeny další rozličné reakce zahrnující tvorbu vazeb C-C – tzv. *kaplingy* (Demel, a další, 2008).

V sedmdesátých letech byly objeveny dvě důležité paladiem katalyzované reakce. Jména jejich autorů se přenesla do názvů obou reakcí. Jedná se o Mizoroki-Heckovu reakci, viz Obr. 1.17, a Tsuji-Trostovu reakci, jejíž princip je zachycený na schématu na Obr. 1.18. Obě zmíněné reakce se široce uplatňují v organické syntéze.



Obr. 1.17: Mizoroki-Heckova reakce, upraveno dle (Astruc, p. 15)



X = OAc, OCO_2R , OH, $\text{OP}(\text{O})(\text{OR})_2$, Cl, NO_2 , SO_2R , NR_3^+

NuH = ROH, RNH_2 , atd., nebo $\text{Nu}^- = \text{OR}^-$, NHR^- , stabilizovaný karbanion, atd.

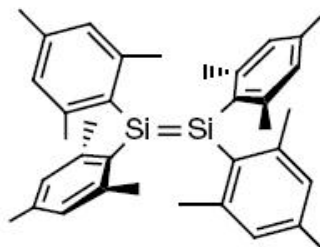
Obr. 1.18: Tsuji-Trostova reakce, upraveno dle (Astruc, p. 15)

Mezi prvními reakcemi, při kterých se opakovaně tvoří vazby C-C za účasti katalyzátorů s přechodnými kovy, by měla být zmíněna Vollhardtova elegantní syntéza aromátů katalyzovaná $[\text{CoCp}(\text{CO})_2]^-$ objevená na počátku sedmdesátých let dvacátého století. Touto cestou se syntetizují deriváty přírodních látek, jako je ženský pohlavní hormon estron, nebo i látky umělé, jejímž příkladem je produkt 2+2+2 cykloadice trimethylsilylacetylenu (TMSA) uvedené na schématu Obr. 1.19.



Obr. 1.19: Syntéza aromátů katalyzovaná $[\text{CoCp}(\text{CO})_2]^+$, převzato z (Astruc, p. 15)

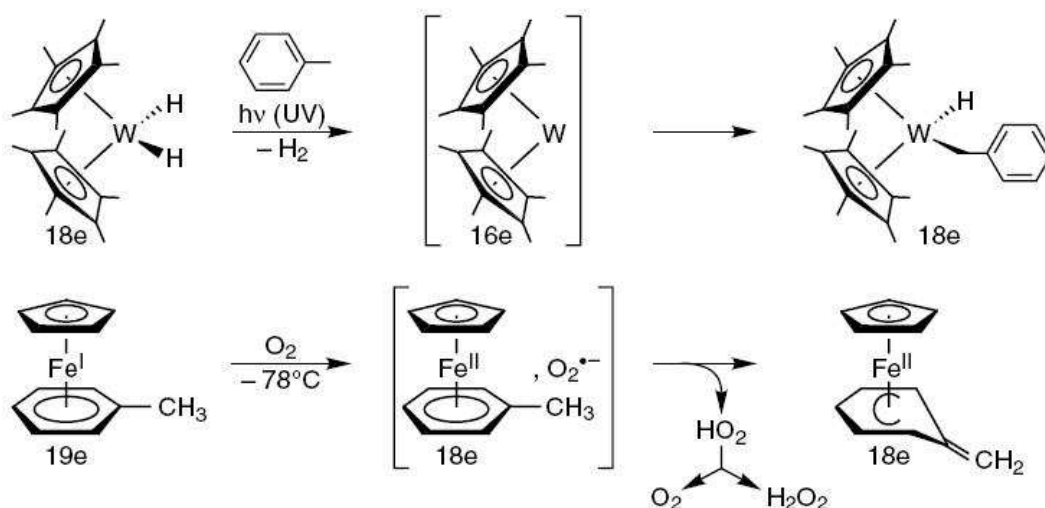
Mezi novými strukturami West publikoval objevení první dvojné vazby křemík-křemík v molekule na Obr. 1.20 v roce 1981 (Elsenbroich a Salzer, p. 4). Trojná vazba byla objevena později - až v r. 2005. Jejím objevitelem je japonský chemik Sekiguchi.



Obr. 1.20: Sloučenina s dvojnou vazbou mezi atomy křemíku, převzato z (Astruc, p. 15)

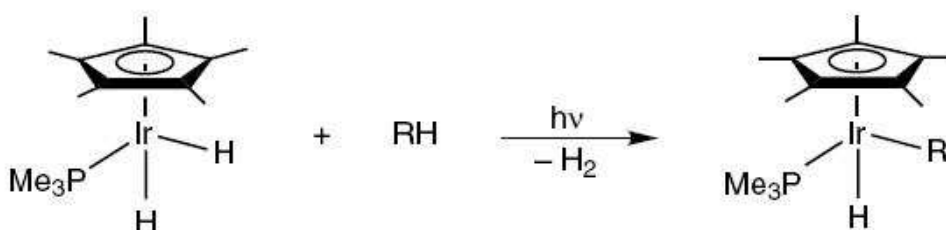
1.6 1970-1985 aktivace vazeb C-H v uhlovodících, metateze σ -vazeb a H_2 jako ligand

Příklady aktivace vazeb C-H přímo na alkylových skupinách jako je Wilkinsonova β -H eliminace a Schrockova α -H eliminace byly objeveny v sedmdesátých letech 20. století. Shilovova práce na deuteraci methanu pomocí solí platiny byla zveřejněna na počátku roku 1969. Shilov dále pokračoval v práci navržením funkcionalizace methanu za vzniku CH_3Cl nebo CH_3OH . Výsledky Shilov publikoval v sedmdesátých letech, avšak stále se ještě neví, zda mechanismus těchto reakcí probíhá oxidativní adicí nebo metatezí σ -vazeb. V r. 1979 výzkumné skupiny M. Greena na Oxfordu a druhá D. Astruca v Rennes uveřejnili způsoby aktivace vazeb C-H v toluenu. Green využil UV zářením indukovanou oxidativní adici wolframocenů, viz schéma na Obr. 1.21 nahoře, zatímco Astruc navrhl elektronový přenos v devatenácti-elektronových komplexech železa prostřednictvím molekuly O_2 za nízkých teplot, viz schéma na Obr. 1.21 dole.



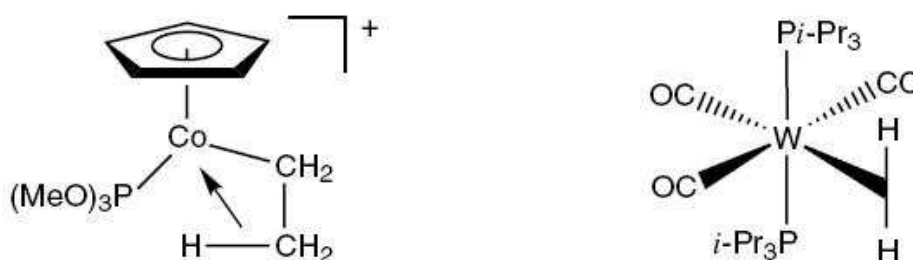
Obr. 1.21: Aktivace toluenu, Greenova nahoře, Astrucova dole, převzato z (Astruc, p. 15)

V letech 1981-1982 tři výzkumné skupiny, Bergmanova, Grahamova (Elsenbroich a Salzer, p. 4) a Jonesova, nezávisle zkoumaly oxidativní adici alkanů na komplexech Ir^+ a Rh^+ , jejíž princip popisuje schéma na Obr. 1.22. Jako produkty této aktivace vznikly odpovídající hydridy.



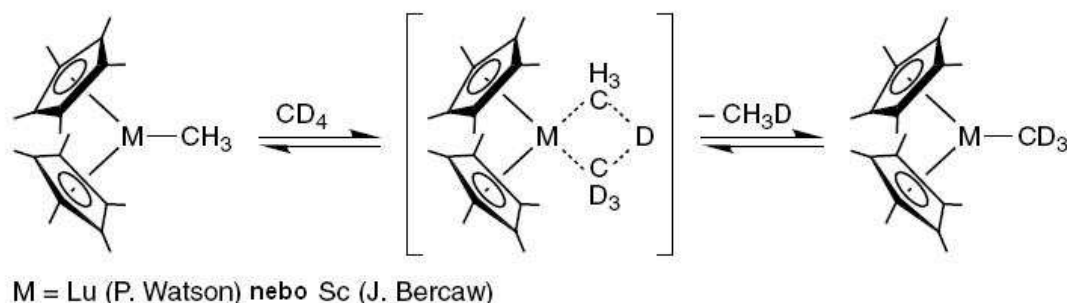
Obr. 1.22: Intramolekulární aktivace vazeb C-H, převzato z (Astruc, p. 15)

V r. 1983 Maurice Brookhardt a Malcolm Green publikovali svůj návrh intramolekulární agostické vazby C-H v komplexech přechodných kovů. Jedná se o elektronově deficitní třístředovou vazebnou interakci C-H-M u komplexů jejichž centrální přechodný kov má charakter Lewisovy kyseliny, tedy takový, který nese volné koordinační místo. Obě vzdálenosti C-H a M-H jsou o 5-20 % delší než u běžné přímé vazby a reaktivita agostické vazby je vysoká. Tato vazebná interakce je ve struktuře na Obr. 1.23 naznačena šipkou od vazby C-H směrem k atomu kobaltu (Astruc, p. 17).



Obr. 1.23: Agostická C-H-M vazba (vlevo) a H_2 komplex, převzato z (Astruc, p. 17)

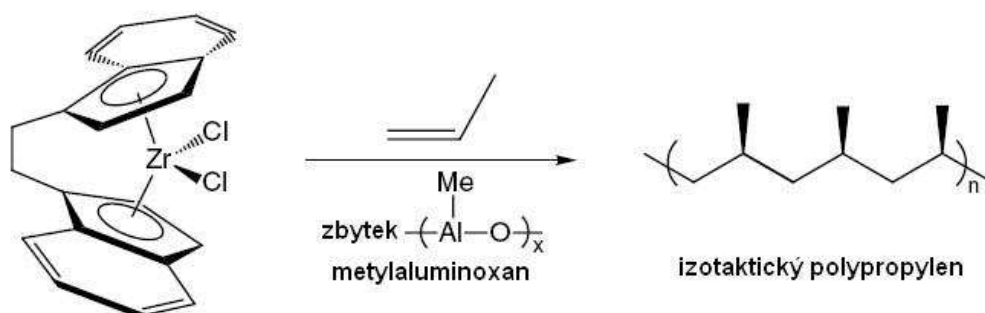
Ve stejném roce Patricia Watson ve společnosti DuPont a John E. Bercaw z Caltech nezávisle publikovali aktivaci methanu d^0 -komplexy lanthanoidů a některých přechodných kovů (např. Lu a Sc), která probíhá mechanismem σ -metateze, jejíž princip popisuje schéma na Obr. 1.24.



Obr. 1.24: Aktivace methanu komplexy lanthanoidů a některých přechodných kovů, převzato z (Astruc, p. 17)

V roce 1984 Gregory Kubas publikoval další důležitý objev: Dihydrogen komplexy jsou stabilizované a izolovatelné, když je přechodný kov dostatečně chudý na elektrony, aby nedošlo k oxidativní adici a tvorbě dihydridu. Příklad takové struktury je na Obr. 1.23 vpravo.

V roce 1985 Brintzinger zveřejnil první ansa-metalocen a demonstroval současně s Kaminským, že polymerace propylenu na něm probíhá stereoselektivním způsobem a vzniká izotaktický polypropylen, jak popisuje schéma na Obr. 1.25. Tento objev vyvrátil Zieglerův a Nattův pohled, podle kterého je takticita polymeru důsledkem struktury povrchu heterogenního katalyzátoru. Brintzinger a Kaminsky ukázali, že takticita polymeru může být indukována jednoduchým reakčním centrem. Tato událost způsobila revoluci ve světě polymerů.



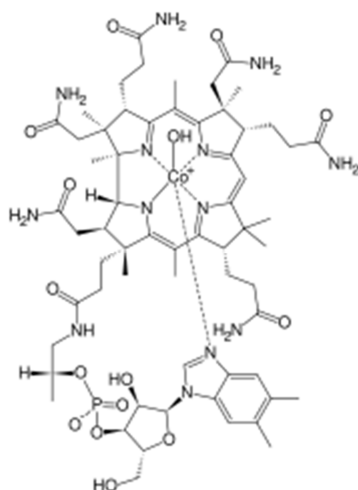
Obr. 1.25: Iniciační komplex pro polymeraci izotaktického polypropylenu, upraveno dle (Astruc, p. 19)

1.7 Organokovové sloučeniny s vlivem na fyziologii

Bylo také objeveno mnoho organokovových sloučenin, které mají fyziologické účinky. Mezi těmito sloučeninami byly jedovaté plyny, které se využívaly pro svou toxicitu jako např. kakodyl popsán výše, což je vysoce toxická sloučenina arsenu. Další organokovovou sloučeninou arsenu je jedovatý plyn lewisit používaný v r. 1914 ve vojenských operacích první světové války (Pitschman, 1998). Výzkum organoarsenitých, organozinečnatých a organortuťnatých sloučenin si také vybral svou daň na lidských životech a dá se říci, že i Bunsen a Frankland se obětovali tomuto výzkumu. V r. 1995 byly při událostech v Japonsku zneužity nervově paralyzující plyny sarin (MeP(=O)(F)O-t-Bu) a VX ($\text{MeP(=O)(OEt)SCH}_2\text{CH}_2\text{N(t-Bu)}_2$). Tyto jedovaté plyny jsou organofosforečné sloučeniny a jejich toxicity jsou 20 krát u sarinu a 40 krát u VX vyšší než u kyanovodíku. Speciálně jsou pro svou toxicitu známé organortuťnaté sloučeniny, o kterých se věří, že jsou netoxické, pokud jsou převedeny na anorganickou formu rtuti. Obecně se o organokovových sloučeninách soudilo, že se pro svou vysokou reaktivitu postupně na vzduchu rozloží na anorganické sloučeniny. Ale znečištění životního prostředí organortuťnatými sloučeninami se projevilo negativně na veřejném zdraví v padesátých letech 20. století v Japonsku a v šedesátých letech ve Švédsku. Důvodem bylo, že i když se organortuťnaté sloučeniny rozložily na anorganické sloučeniny rtuti, vysoce toxická methylrtuť vzniká z anorganických sloučenin rtuti činností mikroorganismů v bahně na dně moří a jezer. Tuto reakci pojmenoval v r. 1945 Challenger jako *biologickou methylaci*. Různé mikroorganismy zvládají provést biologickou methylaci se sloučeninami a prvky arsenu, selenu, kobaltu a rtuti (Omae, p. 17).

Organortuťnaté, organoarsenité a organocínité sloučeniny vykazují vysoké toxicity vůči organismům. Pokud se ale jedná o toxicitu specifickou jen vůči některým organismům, mohou být tyto sloučeniny využity jako germicidy, herbicidy, insekticidy, farmaceutika nebo chemikálie použitelné v zemědělství. Např. v r. 1908 Ehrlich vyvinul *salvarsan* ($4\text{-HO(3-NH}_2\text{)C}_6\text{H}_3\text{-As-})_6$. Salvarsan je známé léčivo proti syfilis a byl používán také v Africe proti spavé nemoci, dokud nebyl později nahrazen antibiotiky, jako je penicilin.

V r. 1912 byl z jater izolován vitamín B_{12} ve formě červených krystalů. V r. 1961 Dorothy Crowfoot-Hodgkinová objasnila strukturu koenzymu vitamínu B_{12} , která je na Obr. 1.26, pomocí rentgenové difrakce na krystalu a primitivního počítače. Závěrem její studie bylo, že jde o chelátovou strukturu s vazbou Co-CH_2 . V ten okamžik se vitamín B_{12} stal první organokovovou sloučeninou mezi přírodními sloučeninami. Tato práce byla oceněna Nobelovou cenou v r. 1964. Úplná syntéza vitamínu B_{12} byla dokončena v r. 1972 jako výsledek společného výzkumu sta odborníků z devatenácti zemí trvající jedenáct let (Crabtree, p. 497), (Roubal, 1994).



Obr. 1.26: Struktura koenzymu vitamínu B₁₂ , převzato z (Wikipedia, 2016)

V r. 1968 Rosenberg a spolupracovníci testovali vliv nízkého střídavého napětí na dělení buněk bakterie *E. coli*, přičemž používali platinové elektrody. Dělení buněk se při pokusu zastavilo, avšak jejich růst pokračoval do podoby vláknitých buněk až třistakrát delších, než bývá u těchto buněk běžné. Experimentátoři detailně zkoumali příčinu a objevili, že elektrický proud nepůsobí přímo na bakterie, ale místo toho jsou aktivní produkty elektrolýzy použitých platinových elektrod. Nakonec zkoumali mnoho sloučenin, které zastavují dělení buněk a jejichž působením vznikají pouze vláknité buňky. V r. 1969 objevili, že *cisplatina* ($\text{cis}(\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2)$) je klinicky důležitý lék proti rakovině, efektivní zejména proti nádorům varlat, vaječníků, hlavy a krku. V současnosti se jedná o nejvíce používaný lék proti rakovině. Avšak cisplatina má mnoho vedlejších efektů jako je nefrotoxicita, gastrointestinální toxicita, způsobuje nevolnosti a zvracení. Kvůli potlačení těchto efektů bylo od té doby syntetizováno mnoho platinových komplexů. Tyto novější farmaceutika bez nežádoucích vedlejších účinků jsou nazývána jako antikarcinogenní léky druhé generace (Omae, p. 18).

1.8 Současné trendy

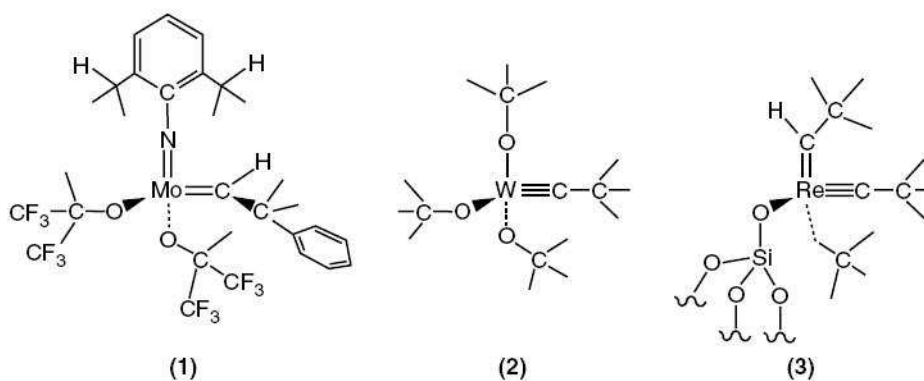
Současné trendy v chemickém průmyslu se odklánějí od petrochemie, hojně rozvinuté v padesátých až sedmdesátých letech 20. století, a pozornost se zaměřuje spíše na specifické chemikálie s přesným použitím. V organokovové chemii se klade důraz na vývoj nových materiálů, jako jsou funkcionizované polymery, elektronické materiály, farmaceutika a kosmetika, přičemž se uplatňují metody organické syntézy s organokovovými sloučeninami.

Nové katalytické systémy se neustále objevují a zavádějí v organické chemii. Konkrétně je čím dál tím více aplikací katalyzátorů zaměřeno směrem k využití chirálních ligandů. Syntéza opticky aktivních sloučenin je neustávající výzvou pro farmaceutický průmysl.

Vyššího významu nabývá i ochrana životního prostředí a tudíž i vývoj nových procesů, které by méně znečišťovaly okolí emisemi a toxickými odpady. Chemie věnovaná těmto problémům se často nazývá „zelená chemie“. Katalýza bude i do budoucna důležitou součástí zelené chemie. V tomto ohledu je významným příspěvkem použití jílů, pevných substrátů a dalších k okolí šetrných medií jako je např. voda (čehož příkladem je Sharplesova „Click chemistry“) nebo superkritický CO₂, fluoritová chemie propracovaná Horvathem a iontové kapaliny jako jsou soli imidazolia, představené v katalýze v osmdesátých letech minulého století Yvesem Chauvinem (Astruc, p. 18).

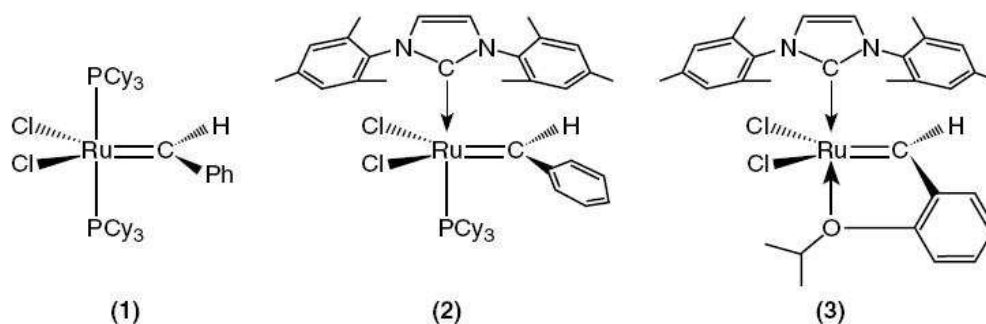
Atomová ekonomie, což znamená snížení počtu kroků při průmyslové výrobě a také minimalizace spotřeby energie a chemikálií se stávají určujícími faktory. Regenerace a znovupoužití katalyzátorů je nezbytné z ekonomických i ekologických důvodů. Vývoj pokrokových selektivních *metalodendrických katalyzátorů*, jejichž molekuly mají keříčkovitou strukturu, reprezentuje důležitý krok v tomto směru. Byly objeveny katalyzátory s povahou Lewisových kyselin a vysokým oxidačním stavem a koncept Lewisových kyselin jako katalyzátorů (organokomplexy přechodných kovů se 14 a 16 elektrony) se rozšiřuje dále zejména v organické syntéze. Příkladem je Kobayashiho aktivace kyslíkových atomů karbonylů pomocí komplexů kovů vzácných zemin ve vodných rozpouštědlech (voda ve směsi s THF nebo i jen samotná voda).

Neobyčejným úspěchem v organometalické chemii byl objev a použití katalyzátorů metateze, které jsou kompatibilní s organickými funkčními skupinami. Nedávný pokrok v použití Schrockových a Grubbsových katalyzátorů je skutečně velmi významný. Zatímco Schrock publikoval v devadesátých letech celé skupiny velmi aktivních katalyzátorů s vysokým oxidačním stavem odvozené od molybdenu a wolframu společně s dalšími chirálními katalyzátory, viz Obr. 1.27, Grubbs představil katalyzátory odvozené od ruthenia, stále za přístupu vzduchu, které se ukázali jako velmi užitečné v organické syntéze.



Obr. 1.27: Katalyzátory Schrockova typu užívané pro metatezi (1990, 1982, 2001), převzato z (Astruc, p. 19)

Schrockovy a Grubbsovy katalyzátory jsou komplementární a jejich komerční využívání se rozmáhá a má znatelný dopad na chemický průmysl v oblasti organické syntézy a vědy o materiálech. Yves Chauvin, Robert H. Grubbs a Richard R. Schrock společně obdrželi Nobelovu cenu za chemii v roce 2005.



Obr. 1.28: Grubbsovy katalyzátory využívané v metatezi (1995, 1999, 2001), převzato z (Astruc, p. 19)

Vylepšení ve struktuře desinu ligandů pro katalyzátory přišlo s Arduengovými stabilními N-heterocyklickými karbeny (NHC), jejichž důležitosti si v metatezi olefinů a u paladiem katalyzovaných vzniků hetero C-C vazeb poprvé všiml Hermann na konci devadesátých let. Struktura těchto katalyzátorů je znázorněna na Obr. 1.28.

Oblast paladiových katalyzátorů také rapidně pokročila. Tsuji-Trostova a Mizoroki-Heckova reakce byly již zmíněny, ale přibýly ještě další reakce, které se úspěchem využívají v organické syntéze (Miyaura-Suzukiho reakce, Sonogashirova reakce a Stilleho reakce). A další výzkum na neznečišťující Miyaura-Suzukiho a Sonogashirově reakci v současnosti probíhá.

Jinou rychle se rozrůstající oblastí je bioorganická chemie. V této oblasti se objevené způsoby aktivace občas podobají těm v organometalické chemii. Příklad vitaminu B₁₂ už není ojedinělým příkladem. V současnosti se už ví, že enzymatická aktivace molekuly H₂ se podobá těm, které jsou známy z anorganické chemie komplexů přechodných kovů a má stejné kyselé vlastnosti, které jsou už dobře známy. Navíc moderní rentgenové techniky dovolují vylepšit znalosti o nitrogenázách a umožňují lepší porozumění mechanismu jejich fungování.

Nanotechnologie a nanověda představují další oblast, která má dopad na chemickou katalýzu, medicínu, molekulární elektroniku a fotoniku (VŠB-TU, 2015). Sofistikované polymery jsou v současné době dostupné pro nanozařízení včetně těch s přesnými fyzikálními vlastnostmi (nanovodiče, nanomagnety, nanoporézní materiály, jednoelektronové transistory, solární články, světloemitující zařízení, nelineární optické materiály a lasery). Organometalická chemie a katalýza hrají prvotní role pro konstrukci těchto materiálů a při odladování jejich vlastností. Je to

také nejlepší z možných metod pro depozici ultračistých kovů pro mikroelektrotechniku. Katalýza na nanočásticích je velmi bouřlivě se rozvíjející oblast vědy (Astruc, p. 20).

2 Určující kurikulární dokumenty a vymezení obsahu učiva

Podle harmonogramu školské reformy musí všechny školy v České Republice začít vyučovat podle vlastního Školního vzdělávacího programu, který si každá škola vypracovává podle svého zaměření na základě Rámcových vzdělávacích programů (RVP) vydaných Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy. Pro gymnázia je dostupný RVP G a zvláštní RVP G pro gymnázia se sportovní přípravou, podle nichž začala výuka od 1.9. 2009 (MŠMT, 2011). Pro odborné školy vzniká pro každý obor samostatný RVP přičemž se původních 800 oborů redukuje na 275 širě koncipovaných oborů. RVP pro odborné školy jsou proto připravovány postupně v Národním ústavu odborného vzdělávání a jejich schvalování probíhá v několika fázích. Podle naposled vydaných RVP se mělo začít učit od 1.9. 2012 (NÚOV, 2011).

RVP jako základní kurikulární dokument vymezuje učivo pouze rámcově, proto je nutné se při určování obsahu učiva v tematickém celku řídit také tím, co bude od žáků požadováno při maturitní zkoušce. Proto je nutné vycházet nejen z RVP, ale také z Katalogu požadavků společné části maturitní zkoušky.

2.1 Organokovové látky v Rámcových vzdělávacích programech

RVP pro gymnázia a RVP pro gymnázia se sportovní přípravou se od sebe v kapitole chemie neliší (MŠMT, 2011). Rámcové vzdělávací programy, jak už jejich název napovídá, jsou pojaty obecně a dávají školám prostor přizpůsobit si náplň výuky. Organokovové sloučeniny v nich explicitně zmíněné nejsou. Není ale vyloučené začlenit organokovové sloučeniny do některé z kategorií, které v RVP G uvedené jsou. Jako nejvhodnější se nabízí *Deriváty uhlovodíků a jejich klasifikace* ve vzdělávací oblasti *Organická chemie*. Očekávané výstupy k oblasti *Organická chemie* jsou pak:

- žák charakterizuje základní skupiny organických sloučenin a jejich významné zástupce, zhodnotí jejich surovinové zdroje, využití v praxi a vliv na životní prostředí
- žák aplikuje znalosti o průběhu organických reakcí na konkrétních příkladech

V RVP pro odborné školy je situace podobná (NÚOV, 2011). Tyto RVP jsou rozděleny do kategorií podle způsobu ukončení studia. Z pohledu vyučování chemie je možné je rozdělit na obory, ve kterých se chemie vyučuje a ve kterých výuka chemie není. Pro všechny obory, ve kterých se chemie vyučuje, např. obory strojírenství, obory elektrotechnické a výpočetní techniky, obory chemické, potravinářské, zemědělské, zdravotnické a veterinární, ale i ekonomické, právní, obchodní, obory služeb a jiné je společná kategorie *Organické sloučeniny v běžném životě a odborné praxi* ve vzdělávací oblasti *Organická chemie*. Očekávané výstupy jsou pak uvedeny obdobně obecnou formou:

- žák uvede významné zástupce základních organických sloučenin a zhodnotí jejich využití v odborné praxi a v běžném životě, posoudí je z hlediska vlivu na zdraví a životní prostředí

2.2 Katalog požadavků zkoušek společné části maturitní zkoušky

Poněkud konkrétnější je z hlediska výstupů *Katalog požadavků zkoušek společné části maturitní zkoušky* (2011). Katalog požadavků k maturitě z chemie obsahuje v kapitole 3. *Organická chemie* podkapitolu 3.6 *Organoprvkové a organokovové sloučeniny*, ve které je požadováno:

- charakterizovat organické sloučeniny křemíku a fosforu, jejich názvosloví
- popsat praktický význam organoprvkových sloučenin (pesticidy, plasty)
- posoudit využití organických sloučenin křemíku – silikonů
- charakterizovat organokovové sloučeniny, jejich názvosloví, metody přípravy a reakce
- popsat reakce organokovových sloučenin (např. hořčíku s vodou případně aldehydy a ketony)
- uvést praktické příklady použití organokovových sloučenin

Dále se k organokovovým látkám vztahuje bod v kapitole 3.4 *Kyslíkaté deriváty uhlovodíků*

- popsat a vysvětlit průběh reakce acetaldehydu s organokovovými sloučeninami (např. methylmagnesiumchloridem),

bod požadavků v kapitole 3.3 *Halogenderiváty uhlovodíků*:

- objasnit průběh reakce halogenderivátů s kovy (sodíkem a hořčíkem)
- a protože jsou organokovové látky hraničním oborem mezi organickou a anorganickou chemií (Dvořák, 1993), není zanedbatelný jejich přesah do témat v kapitole 2.8 *Přechodné prvky (d-prvky)* v kapitole 2 *Anorganická chemie*
- zapsat chemickými rovnicemi a pojmenovat vybrané koordinační sloučeniny d-prvků
 - uvést příklady využití významných sloučenin d-prvků (koordinačních sloučenin).

2.3 Organokovové sloučeniny ve Školních vzdělávacích programech

Základním dokumentem, podle kterého se řídí práce škol a samotných učitelů je *Školní vzdělávací program*. ŠVP si vypracovává každá škola samostatně a předkládá ho ke schválení Ministerstvu školství, mládeže a tělovýchovy. V ŠVP je již uvedeno konkrétní vyučované učivo, očekávané výstupy žáků, způsob jejich hodnocení a mezipředmětové vazby. ŠVP dává školám možnost se profilovat podle svého zaměření a vybavení.

Z hlediska organokovových látek bylo analyzováno patnáct ŠVP různých gymnázií a pět ŠVP odborných škol. Výběr byl proveden náhodně ze škol, které mají na internetu volně dostupné své ŠVP.

- Gymnázium Trutnov (vyšší stupeň) (2011)

učivo: *Organokovové látky*

výstup: žák definuje pojem organokovové sloučeniny, jejich přípravu, vlastnosti a význam.

- Gymnázium Jana Keplera, Praha 6 (2011)

Nezmiňují ani organokovové ani organoprvkové látky vůbec.

- Gymnázium Pardubice, Dašická 1083 (2011)

konkrétně nezmiňují ani organokovové sloučeniny ani organoprvkové sloučeniny. Nejbližším okruhem, ve kterém by mohly být organokovové sloučeniny zmíněné, je učivo *Chemické výrobky důležité pro člověka*.

- Gymnázium Třebíč (2011)

konkrétně nezmiňují ani organokovové sloučeniny ani organoprvkové sloučeniny. Nejbližším okruhem, ve kterém by mohly být organokovové sloučeniny zmíněné, je učivo *Léčiva, drogy, pesticidy, barviva*.

výstup: žák zhodnotí význam organických sloučenin využívaných člověkem.

- Gymnázium Františka Křižíka, Plzeň (2011)

konkrétně nezmiňují ani organokovové sloučeniny ani organoprvkové sloučeniny. Nejbližším tématem je učivo *Mechanismy polyreakcí*, do kterého by mohli organokovové látky částečně zasahovat.

- Gymnázium Pierra de Coubertina, Tábor (2011)
v průřezovém tématu *Enviromentální výchova: Člověk a životní prostředí* uvádí *Organokovové sloučeniny*.
učivo: *Grignardovy sloučeniny*
výstup: žák zná Grignardovy sloučeniny, jejich význam, přípravu a reakce.
- Gymnázium Jírovcova, České Budějovice (2011)
učivo: *Deriváty uhlovodíků (deriváty dusíkaté, kyslíkaté, organokovové)*
výstup: žák charakterizuje jednotlivé typy derivátů uhlovodíků, uvede jejich zástupce, zhodnotí jejich zdroje, využití a vliv na ŽP.
- Gymnázium tř. Kpt. Jaroše 14, Brno (2011)
nezmiňují ani organokovové sloučeniny ani organoprvkové sloučeniny. Nejbližším tématem je učivo *Pesticidy* (některé pesticidy jsou organokovové povahy).
- Gymnázium Jana Masaryka, Jihlava (2011)
nezmiňují ani organokovové sloučeniny ani organoprvkové sloučeniny.
- Gymnázium Písek (2011)
vysloveně nezmiňují ani organokovové sloučeniny ani organoprvkové sloučeniny.
učivo: *Organická chemie v praxi - Léčiva, pesticidy, barviva a pigmenty, detergenty, syntetické makromolekulární látky*
výstup: žák charakterizuje základní skupiny látek běžně používaných v každodenním životě, jejich výrobu, využití v praxi a vliv na zdraví člověka a na životní prostředí. Na základě znalostí o struktuře a chemických znalostech těchto látek objasní způsob jejich využití a fungování v praxi. Porovná výhody a nevýhody syntetických makromolekulárních látek, vyhodnotí jejich vliv na životní prostředí. Porovná strukturu přírodních a synteticky vyráběných sloučenin s podobnými chemickými a biologickými vlastnostmi. Objasní význam farmaceutického průmyslu pro lidské zdraví a uvědomí si zodpovědnost za používání léků.

- Gymnázium J. K. Tyla, Hradec Králové (2011)

vysloveně nezmiňují ani organokovové sloučeniny ani organoprvkové sloučeniny.

učivo: deriváty uhlovodíků II: dusíkaté deriváty, syntetické makromolekulární látky léčiva, pesticidy, barviva, detergenty

výstupy: žák používá základní pravidla systematického názvosloví při tvorbě názvu a vzorce derivátů uhlovodíků, charakterizuje bezkyslíkaté a kyslíkaté deriváty uhlovodíků, popíše a vysvětlí působení organických sloučenin na životní prostředí a na lidský organismus, uvede příklady významných zástupců derivátů uhlovodíků a jejich využití v praxi, uvede produkty konkrétních substitučních, eliminačních a adičních reakcí derivátů uhlovodíků, polymerací.

- Gymnázium Českolipská 373, Praha 9 (2011)

explicitně nezmiňují ani organokovové sloučeniny ani organoprvkové sloučeniny.

učivo: Úvod do organické chemie – deriváty uhlovodíků, Chemie v praxi: plasty, syntetická vlákna, léčiva, detergenty, pesticidy, drogy

výstupy: žák osvojí si základní názvosloví různých derivátů uhlovodíků, vyjmenuje typické zástupce derivátů, jejich vlastnosti a využití, rozliší běžné typy plastů a syntetických vláken a zná jejich využití, vysvětlí působení běžných léčiv a drog, popíše účinek detergentů a rozliší jednotlivé skupiny pesticidů.

- Gymnázium Česká Třebová (2011)

explicitně nezmiňují ani organokovové sloučeniny ani organoprvkové sloučeniny.

učivo: Organická chemie - deriváty uhlovodíků a jejich klasifikace, syntetické makromolekulární látky, léčiva, pesticidy, barviva, detergenty, Biochemie - enzymy

výstup: žák aplikuje pravidla systematického názvosloví při popisu sloučenin s možností využití triviálních názvů, charakterizuje základní skupiny organických sloučenin a jejich zástupce, zhodnotí jejich surovinové zdroje, využití v praxi a vliv na životní prostředí, aplikuje znalosti o průběhu organických reakcí na modelových příkladech, objasní strukturu a funkci sloučenin nezbytných pro důležité chemické procesy probíhající v organismech.

- Gymnázium J. Š. Baara, Domažlice (2011)
 učivo: Organokovové sloučeniny – názvosloví, Grignardova činidla, reakce
 výstup: žák charakterizuje organokovové sloučeniny, uvede praktické příklady jejich použití
- Gymnázium a Střední odborná škola Hořice (2011)
 učivo: Organoprvkové a organokovové sloučeniny – silany, silikony, fosfiny, organofosfáty, Grignardovy sloučeniny, Zieglerovy katalyzátory
 výstup: žák popíše praktický význam organoprvkových sloučenin, charakterizuje organokovové sloučeniny, metody přípravy a reakce, popíše reakce organokovových sloučenin, uvede praktické příklady použití organokovových sloučenin.
- Střední průmyslová škola chemická, Brno (2011)
 obor: Aplikovaná chemie
 učivo: Organokovové sloučeniny, definice organokovových sloučenin, fyzikální a chemické vlastnosti, reaktivita, příprava a výroba, zástupci a jejich použití.
 výstup: žák charakterizuje a pojmenuje libovolnou organokovovou sloučeninu, popíše metody jejich přípravy, popíše a vysvětlí různé typy reakcí organokovových sloučenin (nukleofilní adici, elektrofilní substituci), popíše praktické použití a vlastnosti vybraných sloučenin.
- Střední škola obchodu, služeb a podnikání, České Budějovice (2011)
 obor: Analýza potravin (dobíhající), Farmaceutická technologie
 učivo: Organokovové sloučeniny, definice organokovových sloučenin, názvosloví, fyzikální a chemické vlastnosti, reaktivnost, příprava a výroba, zástupci a jejich použití
 výstup: žák charakterizuje a pojmenuje organokovovou sloučeninu, popíše metody jejich přípravy a výroby, popíše a vysvětlí různé typy reakcí organokovových sloučenin - nukleofilní adici, elektrofilní substituci.
- Masarykova střední odborná škola chemická, Praha 1 (2011)
 obor: Aplikovaná chemie – analytická chemie, Aplikovaná chemie – chemická technologie, Aplikovaná chemie – farmaceutické substance, Aplikovaná chemie – ochrana životního prostředí
 učivo: Organokovové sloučeniny, definice organokovových sloučenin, fyzikální a chemické vlastnosti, reaktivita, příprava a výroba, použití.

výstup: žák charakterizuje a pojmenuje libovolnou organokovovou sloučeninu, popíše metody jejich přípravy, vysvětlí různé typy reakcí organokovových sloučenin, popíše praktické využití organokovových sloučenin.

- Střední odborná škola Stříbro (2011)

obor: Přírodovědné lyceum

učivo: Organokovové sloučeniny

výstup: žák charakterizuje skupiny uhlovodíků a jejich deriváty a tvoří jejich chemické vzorce a názvy, uvede významné zástupce organických sloučenin a zhodnotí jejich využití v odborné praxi a v běžném životě, zapíše schémata základních typů chemických reakcí organických sloučenin a rozumí jejich průběhu, posoudí vliv jednotlivých organických látek na zdraví a životní prostředí, charakterizuje typy reakcí organických sloučenin a dokáže je využít v chemické analýze v daném oboru.

Je vidět, že v některých ŠVP jsou uvedeny organokovové sloučeniny explicitně jako zvláštní kapitola a jiné školy organokovové sloučeniny zvlášť nevyčleňují. Není vyloučeno, že učitelé zakomponují téma organokovových sloučenin nebo třeba jen příklady a použití organokovových sloučenin do jiných probíraných okruhů. Z analýzy ŠVP různých středních škol je patrné, že se školy snaží reagovat na rozvoj chemického poznání a pokrok v technologiích chemických výrob. Možným důvodem jsou i požadavky k maturitní zkoušce, ve kterých se organokovové látky objevují také. Reakce odborných škol na nové trendy se zdá být pružnější, protože jako učivo zařazují organokovové látky jako celek, zatímco gymnázia vyučují většinou jen Grignardovy sloučeniny. Důvodem je pravděpodobně větší množství nově vznikajících odborných oborů.

3 Analýza učebnic

3.1 *Kriteria hodnocení středoškolských učebnic*

Jaká kritéria a metody pro hodnocení zpracování tématu organokovových sloučenin ve středoškolských učebnicích by bylo vhodné vybrat? To je poměrně obtížná otázka, protože jednotná metodika pro hodnocení učebnic obecně v České republice přijata zatím nebyla. Průcha (1989) a Banýr (1992) rozdělují metody hodnocení učebnic do následujících skupin:

Metody kvantitativní

Při analýzách učebnic pomocí těchto metod se používají různé statistické procedury, jimiž se zjišťuje a porovnává výskyt a četnost nějakých měřitelných jednotek učebnice. Výsledky hodnocení lze vyjadřovat pomocí numerických nebo tabelárních údajů.

Metody obsahové analýzy

Tyto metody zjišťují a vyhodnocují kvalitativní vlastnosti učebnic, především jejich obsahu. Poskytují kvalitativní a částečně kvantitativní výsledky. Jsou vhodné pro detailnější analýzu určitého tématu nebo tematického celku. Přehled těchto metod uvádí Průcha (1984) a Čtrnáctová (1982).

Metody dotazníkové

Tyto metody hodnocení učebnic spočívají v zadávání a vyhodnocení dotazníků. Dotazníky jsou zadávány skupinám expertů nebo uživatelů (učitelé, žáci). Z odpovědí respondentů je možné odhadnout kvalitu určité posuzované oblasti, její pochopení, efektivitu dopadu v praxi apod. Současně je možné na základě vyhodnocení dotazníků určité části učebnic opravit, doplnit popř. nahradit jinou, kvalitnější nebo názornější částí.

Metody testovací

Pomocí testů zadávaných žákům se zjišťuje výsledná efektivita aplikovaného úseku látky. V současné době je řada publikací na našem trhu, které obsahují soubory testů z jednotlivých předmětů, ze všeobecných znalostí, soubory k přípravě na maturitu, k přijímacím pohovorům, atd. V současnosti význam testů vzrůstá, protože touto formou se odehrává velmi často zkoušení studentů na středních i vysokých školách, v testové formě jsou obvykle i přijímací zkoušky na VŠ a v neposlední řadě se forma testů zavádí i v novém pojetí maturitních zkoušek.

Metody experimentální

Při použití těchto metod k hodnocení učebnic se po provedení změn v obsahu textu učebnice porovnává výsledný efekt změny ve srovnání s textem původním. Tyto metody se používají například při přípravných pracích na vydání nových učebnic.

Metody komparativní (srovnávací)

Jedná se o metody sloužící k porovnání dvou nebo více učebnic podle určitého hlediska mezi sebou. Srovnávají se například učebnice určitého předmětu a určitého ročníku z různých zemí. Toto porovnání se provádí např. před nahrazení starého pojetí pojetím novým. Dále se jich používá před zavedením nového projektu, před úpravou nového vydání přepracovávané učebnice, atd.

3.2 Metoda použití rastru

K porovnávání učebních materiálů mezi sebou je možné využít metodu *srovnávání pomocí rastru*. Příklad takové metody publikovala Sikorová (2007). Při konstrukci rastrů se postupuje tak, že charakteristiky učebního materiálu jsou posuzovány podle omezeného počtu kategorií, ve kterých je určitý počet kritérií, podrobně rozepsaných v Tabulka 3-1 a shrnutých v Tabulka 3-2. Důležité kategorie obsahují větší počet kritérií. Slabinou těchto metod je vystihnout objektivně správnou důležitost jednotlivých kategorií. Odpovědi na důležitá kritéria mohou mít až trojnásobnou hodnotu. Mezi odborníky však není shoda v tom, která kritéria jsou důležitější a jakou mají mít váhu.

Tabulka 3-1: Hodnocení učebnic s využitím rastru podle Sikorové (2007) - kritéria

kritérium		BODY		
1. KATEGORIE: PŘEHLEDNOST		MAX. 12		
1	Má učebnice přehlednou strukturu? (Navazují na sebe logicky kapitoly a témata, je učebnice dobře rozčleněná?)	ANO	ČÁST.	NE
		6	3	0
2	Je vnitřní struktura textů v učebnici přehledná? (Jsou pojmy řazené v logické posloupnosti, navazují na sebe věty, apod.?)	6	3	0
2. KATEGORIE: PŘIMĚŘENÁ OBTÍŽNOST TEXTU A ROZSAH UČIVA		MAX. 12		
1	Jsou zadání úloh a cvičení v učebnici jasné a srozumitelné?	ANO	ČÁST.	NE
		5	2,5	0

2	Jsou výklad a vysvětlení v učebnici pro žáky srozumitelné a snadno pochopitelné?	ANO	ČÁST.	NE
		4	2	0
3	Je výběr a počet pojmů v učebnici přiměřený úrovni chápání žáků?	ANO	ČÁST.	NE
		3	1,5	0
3. KATEGORIE: ODBORNÁ SPRÁVNOST		MAX. 12		
1	Obsahuje učivo v učebnici odborně správné poznatky?	ANO	X	NE
		6	X	0
2	Odpovídají poznatky v učebnici současnému stavu vědy, kultury a společenské praxe?	ANO	X	NE
		6	X	0
4. KATEGORIE: MOTIVAČNÍ CHARAKTERISTIKY		MAX. 10		
1	Je učivo v učebnici vztažené k praxi (příklady, situace ze života, význam poznatků a dovedností v praxi apod.)?	ANO	X	NE
		4	X	0
2	Jsou výběr učiva a v učebnici a úlohy a otázky pro žáky zajímavé?	ANO	X	NE
		3	X	0
3	Jsou v učebnici užívány grafické prostředky k řízení pozornosti (grafické odlišení různých typů učiva, přehledné členění textu, zdůraznění klíčových pojmů a definic aj.)?	ANO	ČÁST.	NE
		3	1,5	0
5. KATEGORIE: ŘÍZENÍ UČENÍ		MAX. 10		
1	Vyžadují úlohy také řešení problémů, objevování, tvořivou činnost, apod. a ne jen reprodukci učiva?	ANO	ČÁST.	NE
		3	1,5	0
2	Vedou texty v učebnicích k uvažování, kritickému myšlení, hodnocení, apod.?	ANO	ČÁST.	NE
		3	1,5	0
3	Poskytuje učebnice dostatek možností k procvičování, upevňování a opakování učiva?	ANO	ČÁST.	NE
		2	1	0
4	Obsahují texty a úlohy podněty k samostatné práci a skupinové činnosti žáků?	ANO	ČÁST.	NE
		2	1	0

6. KATEGORIE: OBRAZOVÝ MATERIÁL		MAX. 10		
1	Jsou ilustrace, tabulky, schémata, mapky a grafy v učebnici jasné a smysluplné?	ANO	ČÁST.	NE
		4	2	0
2	Obsahuje učebnice dostatek obrazového materiálu, který pomáhá žákům porozumět učivu (objasňuje text, ilustruje text, nahrazuje výklad názornější formou, apod.)?	ANO	ČÁST.	NE
		3	1,5	0
3	Obsahuje učebnice dostatek obrazového materiálu, který je pro žáky přitažlivý?	ANO	ČÁST.	NE
		3	1,5	0
7. KATEGORIE: SHODA S KURIKULÁRNÍMI DOKUMENTY		MAX. 8		
1	Je výběr učiva v učebnici v souladu s kurikulárními dokumenty (učební plán, osnovy, vzdělávací program, apod.)?	ANO	ČÁST.	NE
		5	2,5	0
2	Jsou cíle výuky v zásadě dosažitelné prostřednictvím studia textů a vypracování učebních úloh prezentovaných v učebnici?	ANO	ČÁST.	NE
		3	1,5	0
8. KATEGORIE: CENA, DOSTUPNOST UČEBNICE		MAX. 8		
1	Je cena učebnice přiměřená (vzhledem k cenám jiných učebnic na trhu)?	ANO	ČÁST.	NE
		5	2,5	0
2	Je cena doplňkových materiálů k učebnici (např. pracovního sešitu, příručky pro učitele, kazet, počítačových programů, atd.) přiměřená	ANO	ČÁST.	NE
		3	1,5	0
9. KATEGORIE: ERGONOMICKÉ A TYPOGRAFICKÉ VLASTNOSTI		MAX. 8		
1	Jsou druh a velikost písma v učebnici přiměřené?	ANO	ČÁST.	NE
		5	2,5	0
2	Je vazba učebnice trvalá a odolná a je papír kvalitní?	ANO	ČÁST.	NE
		3	1,5	0

10. KATEGORIE: DOPLŇKOVÉ TEXTY A MATERIÁLY		MAX. 6		
1	Jsou k dispozici doplňující didaktické prostředky (jako videokazety, audiokazety, sbírky úloh, materiál ke hrám, nástěnné mapy, počítačové programy, modely, sady pro pokusy, apod.)	ANO	X	NE
		2	X	0
2	Vydalo nakladatelství také pracovní sešit (knihu) pro žáky k dané učebnici?	ANO	X	NE
		2	X	0
3	Je k dispozici příručka pro učitele k dané učebnici?	ANO	X	NE
		2	X	0
11. KATEGORIE: DIFERENCIACE UČIVA A ÚLOH		MAX. 6		
1	Obsahuje učebnice rozšiřující učivo a úlohy pro nadané žáky?	ANO	ČÁST.	NE
		3	1,5	0
2	Obsahuje učebnice odlišné úlohy z hlediska obtížnosti (pro průměrné i podprůměrné žáky)?	ANO	ČÁST	NE
		3	1,5	0
12. KATEGORIE: HODNOTY A POSTOJE		MAX. 6		
1	Obsahuje učebnice odkazy na společenská pravidla, mravní normy (slušné chování, principy humanismu, tolerance, tradice, právní normy, apod.)?	ANO	ČÁST	NE
		3	1,5	0
2	Prezentuje učebnice menšiny, rasy, náboženské skupiny, národnost, a pohlaví bez stereotypů a předsudků?	ANO	ČÁST	NE
		3	1,5	0
13. KATEGORIE: ZPRACOVÁNÍ UČIVA		MAX. 4		
1	Je odborný obsah v učebnici prezentován také ve vztahu k jiným oborům?	ANO	ČÁST	NE
		1	0,5	0
2	Je učivo v učebnici soustředěné kolem několika základních témat (tzn. spíše málo vybraných témat do hloubky, než mnoho poznatků povrchně)?	ANO	ČÁST	NE
		1	0,5	0
3	Jsou některé poznatky v učebnici prezentované z několika úhlů pohledu, různých perspektiv?	ANO	ČÁST	NE
		1	0,5	0

4	Je v učebnici vysvětleno, proč je nutné se učit různé poznatky a dovednost?	ANO	ČÁST	NE
		1	0,5	0

Tabulka 3-2: Hodnocení učebnic podle rastru – hlavní kategorie

KATEGORIE		BODY		
		MAXIMU M	DOPORU ČENÉ MINIMU M	HODNO CENÍ
1	PŘEHLEDNOST	12	12	
2	PŘIMĚŘENÁ OBTÍŽNOST TEXTU A ROZSAH UČIVA	12	12	
3	ODBORNÁ SPÁVNOST	12	12	
4	MOTIVAČNÍ CHARAKTERISTIKY	10	5	
5	ŘÍZENÍ UČENÍ	10	5	
6	OBRAZOVÝ MATERIÁL	10	5	
7	SHODA S KURIKULÁRNÍMI DOKUMENTY	8	4	
8	CENA, DOSTUPNOST UČEBNICE	8	4	
9	ERGONOMICKÉ A TYPOGRAFICKÉ VLASTNOSTI	8	4	
10	DOPLŇKOVÉ TEXTY A MATERIÁLY	6	3	
11	DIFERENCIACE UČIVA A ÚLOH	6	3	
12	HODNOTY A POSTOJE	6	3	
13	ZPRACOVÁNÍ UČIVA	4	-	
CELKEM		112	72	

Maximální počet bodů je 112, minimální počet by pro přijatelnou učebnici neměl klesnout pod 70 bodů. V případě kategorií Přehlednost, Přiměřená obtížnost textu

a rozsah učiva a Odborná správnost, by podle Dr. Sikorové měly být u přijatelné učebnice hodnoceny maximálními počty bodů.

Pro hodnocení zpracování téma organokovových sloučenin v používaných učebnicích je použita metoda rastru podle Sikorové, protože tato metoda umožňuje i při menší přesnosti zhodnocení jednotlivých charakteristik učebnice dobré vzájemné srovnání testovaných učebnic mezi sebou. Metoda rastru je navržena k hodnocení učebnice jako celku. Aby bylo možné jí použít k hodnocení jednotlivé kapitoly a tématu organokovových sloučenin, postačí kategorie, které nejsou při porovnání relevantní, vynechat. V našem případě byla vynechána kategorie *Shoda s kurikulárními dokumenty*, protože obecné cíle RVP splňují učebnice všechny a konkrétnější ŠVP by muselo být hodnoceno pro každou školu samostatně. Druhým vynechaným měřítkem je cena a dostupnost učebnice, protože nelze vyčíslit cenu jedné samotné kapitoly učebnice. Doporučené celkové minimální a maximální počty bodů pak musí být snižené o počty bodů vynechaných kategorií hodnocení. Poměr bodů v ostatních hodnoceních zůstane zachován, aby bylo možné porovnat téma organokovových sloučenin s celkovou úrovní učebnice popřípadě s hodnocením jiných učebnic nebo zpracováním jiných kapitol. V případě Sbírky úloh pro společnou část maturitní zkoušky byly ještě vynechány kategorie *Doplňkové texty a materiály* a *Diferenciace úloh*, protože ke sbírce úloh nepředpokládáme existenci dalších doplňkových materiálů a úlohy jsou zaměřené pro přípravu k maturitní zkoušce, která je stejně náročná pro všechny studenty. V tabulkách hodnocení pomocí rastru u každé učebnice je v řádcích uvedena pouze kategorie a počet bodů je uveden jako součet bodů za jednotlivé položky každé kategorie, např. 2+2 za kategorii se dvěma položkami. Úplné znění položek každé kategorie je uvedeno v Tabulka 3-1: Hodnocení učebnic s využitím rastru podle Sikorové (2007) - **kritéria**.

M. Klečka provedl hodnocení nejčastěji používané učebnice Mareček, Honza *Chemie pro čtyřletá gymnázia* dotazníkovou metodou. Slovní výsledky jejího hodnocení jsou porovnatelné s výsledky s použitím metody rastru. Pro srovnání jsou přiloženy k hodnocení tématu Organokovové sloučeniny v této učebnici výsledky celkového hodnocení učebnice stanovené dotazníkovou metodou v kap. 3.3.

Kromě metody hodnocení pomocí rastru je u každé hodnocené učebnice připojeno slovní hodnocení. Při slovním hodnocení dostupných středoškolských učebnic v kap. 3.3 byla pozornost zaměřena pouze na zpracování témat týkajících se organokovových sloučenin. Do hodnocení nebyly zahrnuty parametry jako např. přítomnost rejstříku, obsahu, explicitního vyjádření cílů učení, možností sebehodnocení výkonu žáků, grafických symbolů vyznačujících určité části textu, citací z pramenů a další, které by měla obsahovat každá moderní učebnice (Průcha, 2002).

Prostudován byl zejména: obsah výkladových textů, přítomnost zajímavostí a příkladů konkrétních látek, které jsou využívány v každodenním životě a v chemických aplikacích a technologiích, otázky a úkoly, návody na laboratorní cvičení a grafická zpracování tohoto tématu. Po obsahové stránce bylo zkoumáno, zda daná učebnice dostatečně srozumitelně popisuje a vysvětluje látku, která k tématu patří. Zda nepoužívá pojmy, které žáci neznají a kterým nerozumějí, zda tuto látku dokumentuje na příkladech, zda je přítomna vazba na další předměty a jestli tuto látku dokumentuje na námětech pro praktická cvičení.

3.3 Výběr učebnic pro hodnocení

M. Klečka (2011) se ve své práci *Teorie a praxe tvorby učebnic chemie pro střední školy* zabývá hodnocením a rozbory učebnic. V dotazníkovém šetření vytipoval nejpoužívanější učebnice a ty, které používalo alespoň 10 ze 108 respondentů, podrobil dalším analýzám. Stejně stanovisko je zvoleno v této práci a byly analyzovány učebnice, které používalo alespoň 10 učitelů plus překlad německé učebnice *Chemie pro střední školy 1a, 1b, 2a, 2b*, kterou používali pouze 3 respondenti ze 108, ale důvodem je její vysoká cena a několik respondentů v komentáři uvedlo, že jí považují za nejlepší a rádi by ji používali. Dále byla do výběru zahrnuta učebnice Čtrnáctová, Kroutil *Chemie-Sbírka úloh pro společnou část maturitní zkoušky*, protože je přímo určená pro přípravu k maturitní zkoušce.

Po vzoru práce A. Fendrychové (2010) je možné vybrané učebnice charakterizovat rozdělením do následujících kategorií:

1. Učebnice běžně používané pro výuku organické chemie na českých školách a to převážně na gymnáziích. Mareček, Honza, *Chemie pro čtyřletá gymnázia*; Vratislav Šrámek, *Chemie obecná a anorganická*; Kolář, *Chemie /Organická a biochemie/*; Banýr, *Chemie pro střední školy*; Šrámek, Kosina *Obecná a anorganická chemie*, Vacík, Antala, Čtrnáctová, *Chemie pro první ročník gymnázií*, Pacák J., *Jak porozumět organické chemii*.
2. Starší učebnice, které jsou stále dostupné, ale ve školách se příliš nepoužívají. Pacák, Čipera, *Chemie pro 2. ročník gymnázií*. Čárský, J. a kol., *Chemie pro III. ročník gymnázií*.
3. Učebnice, které slouží spíše jako příručky pro žáky nebo učitele a nejsou vhodné, aby se podle nich přímo postupovalo při výuce: Vacík, *Přehled středoškolské chemie*; Čtrnáctová, Kroutil *Chemie-Sbírka úloh pro společnou část maturitní zkoušky*; Kotlík, *Chemie II v kostce*, Bílek, Rychtera, *Chemie na každém kroku*.
4. Méně dostupné učebnice, které jsou dobře zpracované a podrobnější než předchozí zmíněné učebnice a mohou sloužit učitelům jako rozšiřující materiály. Eisner, Amann, *Chemie pro střední školy 2B*.

3.4 *Hodnocení učebnic*

Pokud učebnice obsahují zmínky o organokovových sloučeninách, bývá to vždy až v souvislosti s organickou chemií a se sloučeninami, které jsou odvozeny od sloučenin s uhlíkatým řetězcem. V učebnicích obecné a anorganické chemie nebývá zmínka o organokovových sloučeninách žádná. V učebnicích, kterými se tato práce zabývá, nebyly nalezeny žádné faktické chyby. Nebylo shledáno, že by pojmy byly vysvětlovány vysloveně chybně. Největším problémem, když už učebnice obsahuje zmínku o organokovových sloučeninách, je přílišné zjednodušení. Téma organokovových sloučenin je ve vybraných učebnicích zastoupeno tak úzce, že celkově působí pouze jako příklad něčeho velmi okrajového. Celé téma je nedostatečně vysvětlené, rozkouskované, nejsou ukázány souvislosti mezi jednotlivými částmi.

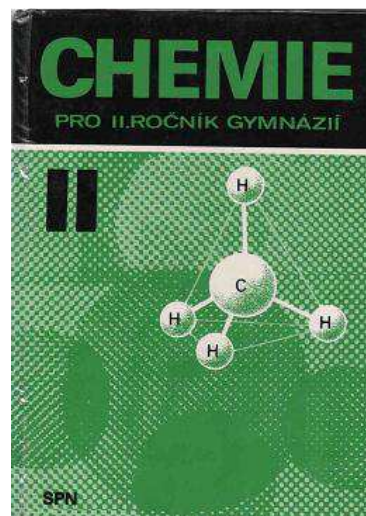
Mezi organokovové sloučeniny se někdy v učebnicích zahrnují i organokřemičité a organofosforečné sloučeniny. Pokud čtenář nezná podrobně problematiku organokovových sloučenin a jejich vymezení, které je třídí podle podobných chemických vlastností, je to velmi matoucí. Přesně to se děje v učebnicích, ve kterých jsou organokovové sloučeniny zmíněné a jejich definice často chybí. To podtrhuje dojem okrajovosti a navozuje představu něčeho exotického, co nelze zařadit do systému chemického učiva. Mezi jednotlivými kovy se nedělá vůbec žádný rozdíl, což narušuje představu plynulého přechodu od kovového k nekovovému charakteru při průchodu periodickým systémem.

Téměř vždy je zdůrazňována toxicita organokovových sloučenin, buď v souvislosti s příkladem tetraethylolova, nebo s využitím bojových chemických látek, pesticidů a herbicidů. To vzbuzuje dojem, že je dobré se těmito látkám zcela vyhnout bez ohledu na jejich přínosy. Často se v učebnicích zmiňuje využití organokovových sloučenin jako reakčních činidel (většinou jen v souvislosti Grignardovými činidly), ale zanikají rozdíly v jejich využití a obrovský dopad na současný styl života jako důsledek jejich používání. Skoro ve všech případech je v učebnicích uvedena informace o velké reaktivitě těchto sloučenin.

V učebnicích bývá obvykle jen několik příkladů sloučenin vytržených ze souvislostí. Nejčastěji je mezi nimi už nepoužívané tetraethylolovo. Zcela se v učebnicích zamlčuje obrovský počet organokovových sloučenin a jejich různorodost. Většina učebnic se o organokovových sloučeninách nezmiňuje vůbec (Šrámek, 2000), (Vacík, a další, 1995), (Ružičková, a další, 2009), (Bílek, a další, 2000), (Banýr, a další, 1995).

Analýza učebnic, které obsahují téma o organokovech

- Pacák, Čipera: *Chemie pro druhý ročník gymnázií* (1985)



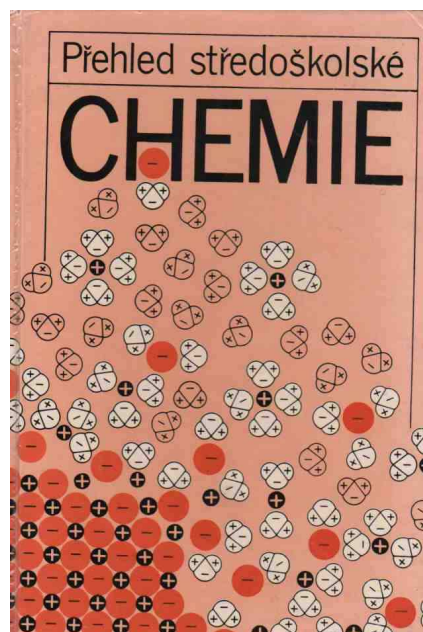
Obr. 3.1: Chemie pro druhý ročník gymnázií - obálka

Tato učebnice, jejíž obálka je na Obr. 3.1, řadí organokovové sloučeniny do společné podkapitoly dohromady s organokřemičitými a organofosforečnými sloučeninami. Předchází jí podkapitola o halogenderivátech uhlovodíků a následují dusíkaté deriváty. Na asi jedné a půl straně formátu A5 je informace, že tyto látky obsahují polární vazbu uhlík-kov, je zmíněna toxicita, samozápalnost a jedovatost. Jako příklad jsou uvedeny tetraethylolovo, trialkylhlinité sloučeniny, organocínité sloučeniny a organické sloučeniny arsenu a několik příkladů jejich použití. Informace, že se organolithné a organohořečnaté látky (Grignardovy sloučeniny) používají v organické syntéze k vnášení alkylové skupiny, je dokladována dvěma chemickými rovnicemi. Pokud jde o grafickou úpravu, jedná se o prostý text, který je doplněn třemi chemickými rovnicemi a několik strukturních vzorců pouze pro příklad těchto látek. Výsledky hodnocení této učebnice metodou rastru jsou shrnuty v Tabulka 3-3.

Tabulka 3-3: Hodnocení – Pacák, Čipera - 1985

KATEGORIE		BODY		
		MAXIMUM	DOPORUČENÉ MINIMUM	HODNOCENÍ
1	PŘEHLEDNOST	12	12	3+6
2	PŘIMĚŘENÁ OBTÍŽNOST TEXTU A ROZSAH UČIVA	12	12	5+4+1,5
3	ODBORNÁ SPÁVNOST	12	12	6+0
4	MOTIVAČNÍ CHARAKTERISTIKY	10	5	4+3+0
5	ŘÍZENÍ UČENÍ	10	5	1,5+0+1+0
6	OBRAZOVÝ MATERIÁL	10	5	4+3+0
7	SHODA S KURIKULÁRNÍMI DOKUMENTY	8	4	-
8	CENA, DOSTUPNOST UČEBNICE	8	4	-
9	ERGONOMICKÉ A TYPOGRAFICKÉ VLASTNOSTI	8	4	2,5+3
10	DOPLŇKOVÉ TEXTY A MATERIÁLY	6	3	0+0+0
11	DIFERENCIACE UČIVA A ÚLOH	6	3	0+0
12	HODNOTY A POSTOJE	6	3	0+1,5
13	ZPRACOVÁNÍ UČIVA	4	-	0,5+0+0+0
CELKEM		96	64	49,5

- Jíří Vacík a kol.: *Přehled středoškolské chemie* (1999)



Obr. 3.2: Přehled středoškolské chemie - obálka

Tato učebnice, jejíž obálka je na Obr. 3.2, nevyčleňuje organokovové sloučeniny do zvláštní kapitoly. Příklady organokovových sloučenin jsou rozptýleny v ostatních kapitolách věnovaných jiné problematice. Grignardova činidla jsou uvedena v kapitole věnované halogenderivátům uhlovodíků. Je zmíněna existence vazby uhlík-kov a jejich vysoká reaktivita. Odstavec o silikonech je včleněn do kapitoly věnované polymeraci. V kapitole *Pohonné látky* je odstavec o reformování ropy s využitím platiny a rhodia jako katalyzátorů a využití tetraethylolova ke zvýšení oktanového čísla benzínu a jeho negativní dopad na životní prostředí. Ve zvláštní podkapitole Pesticidy jsou uvedeny DDT a PCB a důvod zákazu jejich použití, avšak moderní sloučeniny na bázi cínu uvedené nejsou. V podkapitole Bojové chemické látky jsou jako příklad organofosfátů, které se k organokovovým sloučeninám také někdy řadí, uvedeny tabun, soman a sarin. V podkapitole Složení enzymů je uvedeno, že kofaktory některých enzymů obsahují ionty kovů jako Mg^{2+} , K^+ , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} a že katalyzují chemické reakce v organismech. Obrazový materiál k problematice organokovových sloučenin učebnice neobsahuje. Odstavec o Grignardových činidlech je doplněn jednou jednoduchou rovnicí popisující jejich přípravu. Výsledky hodnocení této učebnice metodou rastru jsou shrnuty v Tabulka 3-4.

Tabulka 3-4: Hodnocení – Vacík a kol. - 1999

KATEGORIE		BODY		
		MAXIMUM	DOPORUČENÉ MINIMUM	HODNOCENÍ
1	PŘEHLEDNOST	12	12	0+0
2	PŘIMĚŘENÁ OBTÍŽNOST TEXTU A ROZSAH UČIVA	12	12	0+4+0
3	ODBORNÁ SPÁVNOST	12	12	6+0
4	MOTIVAČNÍ CHARAKTERISTIKY	10	5	4+3+0
5	ŘÍZENÍ UČENÍ	10	5	0+3+0+0
6	OBRAZOVÝ MATERIÁL	10	5	0+0+0
7	SHODA S KURIKULÁRNÍMI DOKUMENTY	8	4	-
8	CENA, DOSTUPNOST UČEBNICE	8	4	-
9	ERGONOMICKÉ A TYPOGRAFICKÉ VLASTNOSTI	8	4	1,5+3
10	DOPLŇKOVÉ TEXTY A MATERIÁLY	6	3	0+0+0
11	DIFERENCIACE UČIVA A ÚLOH	6	3	0+0
12	HODNOTY A POSTOJE	6	3	3+3
13	ZPRACOVÁNÍ UČIVA	4	-	0,5+0+0
CELKEM		96	64	31

- Josef Pacák: *Jak porozumět organické chemii* (1997)



Obr. 3.3: Jak porozumět organické chemii - obálka

Tato učebnice, jejíž obálka je na Obr. 3.3, organokovové sloučeniny samostatně nezmiňuje. V podkapitole o halogenderivátech uhlovodíků je krátký odstavec o sloučeninách odvozených od alkylmagnesia, které vznikají v bezvodém etheru, tedy o Grignardových činidlech. Na tento odstavec navazuje další odstavec, který uvádí organokovové sloučeniny, ve kterých je uhlovodíkový zbytek vázaný přímo na atom kovu. Zmiňuje existenci sloučenin organolithných, organocínčitých, organohlinitých, organoolovičitých a zdůrazňuje tetraethylolovo. Kapitola je doplněná strukturními vzorci, schématem sestaveným z několika rovnic a tabulkou, ale k organokovovým sloučeninám se vztahuje pouze jednoduchá rovnice popisující vznik alkylmagnesiových činidel. Výsledky hodnocení této učebnice metodou rastru jsou shrnuty v Tabulka 3-5.

Tabulka 3-5: Hodnocení – Pacák - 1997

KATEGORIE		BODY		
		MAXIMUM	DOPORUČENÉ MINIMUM	HODNOCENÍ
1	PŘEHLEDNOST	12	12	0+3
2	PŘIMĚŘENÁ OBTÍŽNOST TEXTU A ROZSAH UČIVA	12	12	5+4+0
3	ODBORNÁ SPÁVNOST	12	12	6+0
4	MOTIVAČNÍ CHARAKTERISTIKY	10	5	2+3+1,5
5	ŘÍZENÍ UČENÍ	10	5	1,5+1,5+0+0
6	OBRAZOVÝ MATERIÁL	10	5	4+0+0
7	SHODA S KURIKULÁRNÍMI DOKUMENTY	8	4	-
8	CENA, DOSTUPNOST UČEBNICE	8	4	-
9	ERGONOMICKÉ A TYPOGRAFICKÉ VLASTNOSTI	8	4	2,5+1,5
10	DOPLŇKOVÉ TEXTY A MATERIÁLY	6	3	0+0+0
11	DIFERENCIACE UČIVA A ÚLOH	6	3	0+0
12	HODNOTY A POSTOJE	6	3	0+3
13	ZPRACOVÁNÍ UČIVA	4	-	0+0+0+0
CELKEM		96	64	38,5

- Mareček, Honza: *Chemie pro čtyřletá gymnázia* (1998)



Obr. 3.4: Chemie pro čtyřletá gymnázia - obálka

V této učebnici, jejíž obálka je na Obr. 3.4, je téma organokovových sloučenin začleněno do samostatné hlavní kapitoly, což se jeví jako vhodné řešení. Přestože je celá problematika popsána jen na třech stránkách formátu A5, je kapitola rozdělena do tří podkapitol – *příprava*, *vlastnosti* a *význam organokovových sloučenin*. To je v souladu se zpracováním celé učebnice a členění je voleno vhodně tak, že zpřehledňuje celou kapitolu věnovanou organokovovým sloučeninám.

Kniha uvádí přípravu Grignardových činidel, organolithných sloučenin a jako příklad obtížně připravitelných sloučenin ještě tetramethylcín. V kapitole o vlastnostech se mluví o reaktivitě, rozpustnosti a je uveden příklad o přechodu charakteru vazby od iontového k polárnímu. V kapitole o významu organokovových sloučenin je zmínka o využití v katalýze a beztlakové polymeraci, použití prostředků na hubení škůdců a je tam více rozvedena problematika tetraethylolova.

V celém textu je vloženo pět chemických rovnic bez dalších obrázků a dvě krátké pasáže jsou označeny pruhem pro rozšiřující učivo. Výsledky hodnocení této učebnice metodou rastru jsou shrnuty v Tabulka 3-6.

Tabulka 3-6: Hodnocení – Mareček, Honza - 1998

KATEGORIE		BODY		
		MAXIMUM	DOPORUČENÉ MINIMUM	HODNOCENÍ
1	PŘEHLEDNOST	12	12	6+6
2	PŘIMĚŘENÁ OBTÍŽNOST TEXTU A ROZSAH UČIVA	12	12	5+4+0
3	ODBORNÁ SPÁVNOST	12	12	6+0
4	MOTIVAČNÍ CHARAKTERISTIKY	10	5	2+1,5+3
5	ŘÍZENÍ UČENÍ	10	5	0+1,5+0 +0
6	OBRAZOVÝ MATERIÁL	10	5	4+1,5+0
7	SHODA S KURIKULÁRNÍMI DOKUMENTY	8	4	-
8	CENA, DOSTUPNOST UČEBNICE	8	4	-
9	ERGONOMICKÉ A TYPOGRAFICKÉ VLASTNOSTI	8	4	5+3
10	DOPLŇKOVÉ TEXTY A MATERIÁLY	6	3	0+2+0
11	DIFERENCIACE UČIVA A ÚLOH	6	3	3+0
12	HODNOTY A POSTOJE	6	3	1,5+1,5
13	ZPRACOVÁNÍ UČIVA	4	-	0,5+1+0, 5+0
CELKEM		96	64	58,5

Shrnutí hodnocení Chemie pro čtyřletá gymnázia dotazníkovou metodou dle M. Klečky (2011)

Při zjišťování náročnosti učebnice jako celku vyšlo hodnocení velmi příznivě. Učebnice je hodnocena respondenty jako přiměřeně obtížná s mírným sklonem k větší obtížnosti. Náročnost výkladové části učebnice je hodnocena jako optimální.

Úspěšnost vyučovacího procesu je závislá jak na kvalitě vyučovacího textu, tak na grafické stránce, která text doplňuje. Hodnocení grafické stránky této učebnice, tzn. obrázků, fotografií, grafů, tabulek atd., vychází jako poněkud slabší.

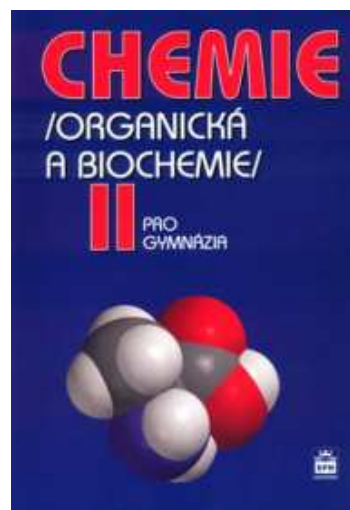
Pro srozumitelnost a snadnou orientaci žáků v textu je důležité zvýraznění hlavních faktů a myšlenek. Hodnocení tohoto faktoru vychází jako poměrně dobré se sklonem k hodnocení poněkud slabší. V učebnici má důležitou funkci také zvýraznění a shrnutí hlavních poznatků z každého didaktického celku v závěru probírané kapitoly. Hodnocení shrnutí hlavních poznatků a myšlenek v závěru kapitol je poněkud slabší se sklonem k hodnocení jako nedostatečné. Na srozumitelnosti učebnice se podílí řada výše uvedených faktorů. V případě této učebnice však vychází jako dobrá.

Zařazování pokusů ať už žákovských nebo demonstračních, které by pomohly učitelům zatraktivnit výuku a učit praktickým dovednostem, autoři této učebnice neřešili. Oblast pokusů a laboratorních cvičení můžeme tedy označit za nedostatečnou. Pro pozitivní motivaci žáků a pro praktický život mají velký význam ukázky a příklady z praxe. Návaznost této učebnice na praxi je hodnocena pouze jako poněkud slabší. Hodnocení motivační a aktivizující funkce učebnice vychází jako poněkud slabší se sklonem k hodnocení nedostatečné.

Hodnocení mezipředmětových vztahů této učebnice vychází jako slabší až nedostatečné. Hodnocení environmentální výchovy a ekologické problematiky je podobně jako předchozí hodnocení slabší se sklonem k nedostatečnému. Další otázka v dotazníku M. Klečky testovala, zda jsou v učebnici uvedeny odkazy na další zdroje informací. Hodnocení odráží fakt, že odkazy na další zdroje informací v učebnici zcela chybí, takže tato položka je hodnocena jako nedostatečná.

Hodnocení kvality, náročnosti a přiměřenosti úloh v učebnici vychází jako dobré až velmi dobré. Hodnocení příkladů ve sbírce k učebnici Mareček, Honza *Chemie v příkladech* (1997) je dobré. Úroveň zařazování problémových úloh pro co možná nejaktivnější zapojení žáků do výuky vychází jako slabší až dobrá. Hodnocení pasáží opakovacích a procvičovacích, které jsou určeny kupevnění učiva a přesunutí poznatků do dlouhodobé paměti, vychází jako dobré se sklonem k hodnocení poněkud slabší. K tomu, aby hodiny nebyly monotónní a byly co možná nejzajímavější, je možné včlenit motivační a zábavné úlohy. Jejich zařazení v této učebnici vychází jako nedostatečné, protože v ní zcela chybí. Poslední otázka dotazníku zjišťovala přítomnost testových otázek v učebnici, protože je předpokládá jejich možné využití u státních maturit nebo při přijímacím řízení na vysoké školy. Zařazení testových otázek v učebnici je hodnoceno jako poněkud slabší až dobré, ve sbírce úloh je pak poněkud slabší až nedostatečné.

- Kolář a kol.: *Chemie organická a biochemie* (2005)



Obr. 3.5: Chemie organická a biochemie - obálka

V této učebnici, jejíž obálka je na Obr. 3.5, je opět oddělena látka organokovových sloučenin do samostatné hlavní kapitoly o rozsahu necelé strany A5, která je včleněna za téma organokřemičitých látek a před heterocyklické sloučeniny.

Je zmíněný přechod charakteru vazby od iontové vazby až k nepolární kovalentní vazbě u sloučenin rtuti, reakce lithia a hořčíku s halogenderiváty, reakce organokovových sloučenin s vodou a karbonylovými sloučeninami, Grignardovy sloučeniny bez uvedení jejich použití, tři jiné příklady sloučenin s jejich využitím a je rozvedená problematika toxicity rtuti. V textu je použito tučně zvýrazněné slovo *karbanionty* v souvislosti s jejich velkou reaktivitou, ale bez dalšího dostatečného vysvětlení. Pokud je to vysvětleno v jiné kapitole, bylo by vhodné uvést odkaz. Z textu o Grignardových a organohorečnatých sloučeninách nevyplývá, že to jsou ty sloučeniny, jichž se týká uvedený příklad přípravy sloučenin, ve kterých se atom hořčíku nachází v molekule mezi atomem chloru a organickou částí molekuly.

Stejně jako za každou z kapitol je blok otázek a úloh, v tomto případě se dvěma otázkami. První je zaměřena na názvosloví, obsahuje čtyři podotázky, druhá je zaměřena na toxicitu rtuti. Celý text je doplněn pěti chemickými rovnicemi, které vhodně sumarizují výklad a několika strukturními vzorci. Velmi vhodně jsou použité strukturní vzorce u tří příkladů konkrétních sloučenin s jejich přesným praktickým použitím, což více propojuje teorii s reálným životem. Tento přístup kladně hodnotí Petty ve svém Moderním vyučování: „Důležité je vždy ukázat studentům konkrétní příklad toho, o čem je učíme. Velmi jim to pomůže při pochopení dané látky.“ (Petty, 2002) Některé důležité pojmy jsou tučně zvýrazněny a v záhlaví každé strany je uveden název hlavní kapitoly pro zpřehlednění. Výsledky hodnocení této učebnice metodou rastru jsou shrnuty v Tabulka 3-7.

Tabulka 3-7: Hodnocení – Kolář - 2005

KATEGORIE		BODY		
		MAXIMUM	DOPORUČENÉ MINIMUM	HODNOCENÍ
1	PŘEHLEDNOST	12	12	3+6
2	PŘIMĚŘENÁ OBTÍŽNOST TEXTU A ROZSAH UČIVA	12	12	5+2+0
3	ODBORNÁ SPÁVNOST	12	12	6+2
4	MOTIVAČNÍ CHARAKTERISTIKY	10	5	4+3+3
5	ŘÍZENÍ UČENÍ	10	5	1,5+3+0+0
6	OBRAZOVÝ MATERIÁL	10	5	4+3+0
7	SHODA S KURIKULÁRNÍMI DOKUMENTY	8	4	-
8	CENA, DOSTUPNOST UČEBNICE	8	4	-
9	ERGONOMICKÉ A TYPOGRAFICKÉ VLASTNOSTI	8	4	5+1,5
10	DOPLŇKOVÉ TEXTY A MATERIÁLY	6	3	0+0+0
11	DIFERENCIACE UČIVA A ÚLOH	6	3	0+0
12	HODNOTY A POSTOJE	6	3	3+3
13	ZPRACOVÁNÍ UČIVA	4	-	1+0+0+0
CELKEM		96	64	59

- Čtrnáctová, Kroutil: *Sbírka úloh pro společnou část maturitní zkoušky* (2001)



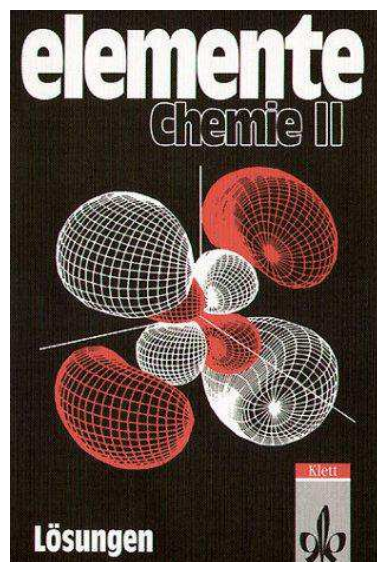
Obr. 3.6: Sbírka úloh pro společnou část maturitní zkoušky - obálka

Tato sbírka, jejíž obálka je na Obr. 3.6, obsahuje pouze jedinou otázku, která se týká organokovových sloučenin. Tato otázka testuje znalost přípravy Grignardových činidel a jejich reakci s vodou. Je to uzavřená otázka, kde pouze jedna ze čtyř variant odpovědí je správná. Správné řešení je vhodně umístěné na téže stránce dole, vytištěné obráceně, takže není potřeba při hledání odpovědi složitě hledat a listovat sbírkou. Výsledky hodnocení této učebnice metodou rastru jsou shrnuty v Tabulka 3-8.

Tabulka 3-8: Hodnocení – Čtrnáctová, Kroutil - 2001

KATEGORIE		BODY		
		MAXIMUM	DOPORUČENÉ MINIMUM	HODNOCENÍ
1	PŘEHLEDNOST	12	12	0+6
2	PŘIMĚŘENÁ OBTÍŽNOST TEXTU A ROZSAH UČIVA	12	12	5+4+0
3	ODBORNÁ SPÁVNOST	12	12	6+0
4	MOTIVAČNÍ CHARAKTERISTIKY	10	5	0+1,5+1,5
5	ŘÍZENÍ UČENÍ	10	5	3+0+0
6	OBRAZOVÝ MATERIÁL	10	5	2+0+0
7	SHODA S KURIKULÁRNÍMI DOKUMENTY	8	4	-
8	CENA, DOSTUPNOST UČEBNICE	8	4	-
9	ERGONOMICKÉ A TYPOGRAFICKÉ VLASTNOSTI	8	4	5+3
10	DOPLŇKOVÉ TEXTY A MATERIÁLY	6	3	-
11	DIFERENCIACE UČIVA A ÚLOH	6	3	-
12	HODNOTY A POSTOJE	6	3	0+1,5
13	ZPRACOVÁNÍ UČIVA	4	-	0+1+0+0
CELKEM		84	58	39,5

- Eisner a kol.: *Chemie pro střední školy*
(2000)



Obr. 3.7: Chemie pro střední školy - obálka

Tato učebnice, jejíž obálka je na Obr. 3.7, a která je přeložená do češtiny z německého originálu, se svým uspořádáním zcela liší od běžných českých učebnic. Neobsahuje vůbec žádné zmínky o organokovových sloučeninách, ale za zmínku stojí kapitola o komplexních sloučeninách, protože je napsaná tak, že je z ní patrné prolínání anorganické a organické chemie, nezastírá rozdíly mezi jednotlivými kovy a poměrně složité a aktuální téma nezjednodušuje tak, že by působilo okrajovým dojmem. Z velkého počtu příkladů ani nevystává dojem, že by bylo něco zamlčeno nebo že se anorganická chemie omezuje na odvozování oxidů, sulfidů, hydroxidů a solí od jednotlivých kovů. Pestrost chemie podtrhuje, že je v ní přímo uvedeno, že v současnosti existuje asi 150 000 komplexních sloučenin. Tato učebnice by se tak mohla stát inspirací pro tvorbu materiálů právě o organokovových sloučeninách.

Rozsah celé kapitoly je třináct stran formátu A4. Srozumitelný a do odstavců dobře logicky členěný výklad je rozdělen do několika podkapitol. Ve zvláštní podkapitole je odděleno názvosloví od skutečného prostorového uspořádání částic a vazebných poměrů, takže je naprosto zřetelné, že názvosloví je pouze nástroj k tomu jak popisovat skutečnost a ne že chemie je jen o tom, jak tvořit vzorce. Mezi ligandy jsou uvedeny ligandy všech druhů, jak jednodušší anorganické, tak složité organické a je popisována i struktura chelátů. Jsou uvedeny i různé druhy izomerie (i u anorganických látek), takže je patrný překryv anorganické a organické chemie.

Výklad je doplněn mnoha obrázky nebo tabulkami, návody k laboratorním cvičením a chemickými rovnicemi. Všechny tyto prvky jsou umístěny citlivě k potřebám výkladu a v kombinaci s dělením textu logicky do odstavců, jsou všechny informace a myšlenky vykládány velmi zřetelně a srozumitelně.

V celé kapitole je mnoho příkladů z reálného prostředí a vše je vysvětlováno v souvislostech, které přesahují i do jiných předmětů nebo jiných chemických disciplín. Celkově jsou *Významu a použití komplexů* věnovány čtyři strany z třinácti. Přesah do fyziky je patrný při vysvětlování barev komplexů a jejich interakce se světlem, přesah do fyzikální chemie souvisí se stabilitou komplexů, která je dokladována disociačními konstantami a rovnicemi zvrtných reakcí o výměnách ligandů komplexních sloučenin. Přesah do analytické chemie je naplněn příklady titrací a stanovením různých látek a přesah do biologie je pak patrný při vysvětlování rozpustnosti chelátů na příkladu vylučování těžkých kovů z těla močí. Další příklady, které jsou zmíněné odděleně ve vlastní podkapitole, jsou *Komplexy v technické praxi* (o vyvolávání fotografií a kyanidovém loužení zlata a stříbra) a *Komplexy v biologii* (o mechanismu přenosu kyslíku krevním barvivem). U příkladu sloučenin fosforu, které tvoří chelátové komplexy s vápníkem a hořčíkem a používají se k odstranění tvrdosti vody, je uveden jejich vliv na životní prostředí (nedochází k eutrofizaci prostředí fosforem) a náhradní moderní řešení. Kniha tedy poskytuje aktuální informace. V kapitole *Komplexy v biochemii* je vysvětlen nepříznivý účinek vdechování oxidu uhelnatého při kouření, což má efekt i na výchovnou složku vzdělávacího procesu. U každého takového příkladu je celý problém znovu vysvětlen, takže si žáci připomenou již probrané učivo, které je nástrojem pro pochopení nových poznatků. Popřípadě je uveden odkaz na kapitolu již s probranou látkou. Tento přístup je v souladu s pedagogickým konstruktivismem. Nově osvojované poznatky a dovednosti jsou dávány do vztahů s poznatky a dovednostmi osvojenými již dříve. To napomáhá lepšímu porozumění a zapamatování (Halbich, 1985).

V závěru celé kapitoly je jedna strana *Kontrolních a doplňujících otázek*. Otázky jsou postavené tak, že testují znalost poznatku i schopnost ho aplikovat s použitím žákům již známých chemických nástrojů a prostředků, což opět prohlubuje komplexnost všech poznatků. Poslední otázka kromě testování znalostí vysvětluje ještě další zajímavost navíc (procházení draselných iontů biomembránou při navázání na *crownethery*). To vzbuzuje zvědavost a tedy má další motivační účinek. Po grafické stránce, je i poslední motivační otázka vybavena obrázkem molekuly crownetheru. Výsledky hodnocení této učebnice metodou rastru jsou shrnuty v Tabulka 3-9.

Tabulka 3-9: Hodnocení – Eisner, Amman - 2000

KATEGORIE		BODY		
		MAXIMUM	DOPORUČENÉ MINIMUM	HODNOCENÍ
1	PŘEHLEDNOST	12	12	6+6
2	PŘIMĚŘENÁ OBTÍŽNOST TEXTU A ROZSAH UČIVA	12	12	5+4+3
3	ODBORNÁ SPÁVNOST	12	12	6+6
4	MOTIVAČNÍ CHARAKTERISTIKY	10	5	4+3+3
5	ŘÍZENÍ UČENÍ	10	5	3+2+2
6	OBRAZOVÝ MATERIÁL	10	5	4+3+3
7	SHODA S KURIKULÁRNÍMI DOKUMENTY	8	4	-
8	CENA, DOSTUPNOST UČEBNICE	8	4	-
9	ERGONOMICKÉ A TYPOGRAFICKÉ VLASTNOSTI	8	4	5+1,5
10	DOPLŇKOVÉ TEXTY A MATERIÁLY	6	3	0+0+0
11	DIFERENCIACE UČIVA A ÚLOH	6	3	0+0
12	HODNOTY A POSTOJE	6	3	1,5+1,5
13	ZPRACOVÁNÍ UČIVA	4	-	1+1+0,5 +0
CELKEM		96	64	58

3.5 Závěry, které plynou z hodnocení českých středoškolských učebnic

České učebnice se organokovovými sloučeninami téměř vůbec nezabývají, a pokud ano, je jim vyhrazen pouze velmi omezený prostor. Nebylo shledáno, že by pojmy byly vysvětlovány vysloveně chybně. Správně bývají organokovové sloučeniny zařazeny až po probrání sloučenin s uhlíkovými řetězci většinou mezi deriváty uhlovodíků. Největším problémem, když už učebnice obsahuje zmínku o organokovových sloučeninách, je přílišné zjednodušení. Učivo je rozkouskované, jednotlivá témata jsou vysvětlována izolovaně a nejsou zařazena do systému. Každý z autorů, který organokovové sloučeniny zmiňuje, se zkouší vybrat nejdůležitější příklady ve snaze toto téma nevynechat, ale nevyplýtvat na něm příliš prostoru. Každý ovšem považuje za důležité něco jiného. Výsledkem jsou fakta vytržená ze souvislostí, která nejsou nijak zařazena do systému chemického vzdělávání. Učivo se tak stává souborem faktů, které se musí student mechanicky naučit a nelze je odvodit pochopením. Žákům se tak neupevňují předchozí znalosti a dovednosti a nově naučená látka se snadno zapomene. Celé téma tak působí velmi okrajově, přestože jsou organokovové sloučeniny velmi významné a znatelně ovlivňují styl života především v průmyslově vyspělých zemích.

Otázky a úkoly, které by testovaly znalost učiva po přečtení výkladu, se vyskytují pouze v jedné z analyzovaných učebnic. Jejich rozsah je úměrný rozsahu celé kapitoly. Testují názvosloví a vždy jediný z uvedených příkladů látek. Ve sbírce úloh k maturitě je též pouze jeden příklad, který testuje znalost reakce Grignardových činidel s vodou a schopnost zapsat tento děj chemickou rovnicí.

Vazby a propojení s ostatními předměty bývají velmi slabé nebo žádné. To vyplývá opět z malého prostoru, který je tématu věnován. Náznak vazby s biologií bývá při vysvětlení problematiky tetraethylolova, a pokud jsou uvedeny ostatní příklady (např. toxicita sloučenin, účinek pesticidů a bojových chemických látek), bývá to jen ve formě faktů bez dalšího vysvětlení. Učebnice se téměř vždy zmiňují o využití v katalýze, ale co přesněji to znamená a jaký to má dopad na životní prostředí v rámci šetření energií zvláště při výrobě polyethylenu a polypropylenu, už neuvádějí.

České učebnice nebývají vybaveny kvalitním obrazovým materiálem (Klečka, 2011). Primárním důvodem je cena, tedy co možná největší dostupnost učebnic žákům, kteří si knihy financují sami. Učebnice obsahují buď černobílá schémata a obrázky nebo se barvy omezují na fialovou a modrou. Obrazový materiál v kapitolách s organokovovými sloučeninami se omezuje na chemické rovnice a strukturní vzorce. Nemá tak využitá příležitost k motivaci, protože zajímavé ukázky vzbuzují zvědavost a touhu si je prohlédnout. Úplně tak chybí vysvětlení, jak asi vypadá „kouzelná“ látka zvaná katalyzátor a nebývá ani pro ilustraci uveden

příklad schéma nějakého katalytického děje se vzorci meziproduktů a postupnou přeměnou látek.

Z hodnocení metodou rastru nejlépe vychází Kolářova učebnice *Chemie organická a biochemie*, která získala 59 bodů, přičemž maximum bylo 96 a doporučené minimum 64. Hned za ní se umístila Marečková *Chemie pro čtyřletá gymnázia* s 58,5 bodu se stejným možným maximem i doporučeným minimem. Výsledky hodnocení všech hodnocených učebnic s použitím metody rastru jsou pro možnost porovnání učebnic mezi sebou shrnuty v Tabulka 3-10.

Tabulka 3-10: Hodnocení metodou rastru – porovnání učebnic

Hodnocené učebnice	Maximum	Doporučené minimum	Celkové skóre
Pacák, Čipera: <i>Chemie pro druhý ročník gymnázií</i>	96	64	49,5
Josef Pacák: <i>Jak porozumět organické chemii</i>	96	64	31
Jíří Vacík a kol.: <i>Přehled středoškolské chemie</i>	96	64	38,5
Mareček, Honza: <i>Chemie pro čtyřletá gymnázia</i>	96	64	58,5
Kolář a kol.: <i>Chemie organická a biochemie</i>	96	64	59
Čtrnáctová, Kroutil: <i>Sbírka úloh pro společnou část maturitní zkoušky</i>	84	58	39,5
Eisner a kol.: <i>Chemie pro střední školy</i>	96	64	58

4 Dotazníkové šetření v rámci projektu Přírodní vědy a matematika na středních školách v Praze: aktivně, aktuálně a s aplikacemi

V rámci operačního programu *Praha – Adaptabilita* proběhl v letech 2010-2012 projekt s názvem *Přírodní vědy a matematika na středních školách v Praze: aktivně, aktuálně a s aplikacemi*. Vyhlašovatelem projektu byl Magistrát hlavního města Prahy a příjemcem projektu byly Přírodovědecká fakulta a Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy. Podrobnosti o tomto projektu jsou dostupné na webových stránkách (aaa-science.cz, 2011).

Projekt byl určen učitelům biologie, chemie, fyziky, geografie, geologie a matematiky na středních školách v Praze, kteří mají zájem o nové podněty pro svou práci. V rámci projektu byly vytvářeny a nabídnuty vyučujícím výukové materiály a pomůcky, které jim umožní doplnit obsah výuky o aktuální informace, včetně informací o aplikacích a zajímavých aktivitách pro žáky. Pro každý předmět byly připraveny čtyři vzdělávací moduly a učitelé si sami mohli vybrat ty, které je zajímaly. Nebylo podmínkou, aby se v zapojených školách projekt týkal všech uvedených předmětů a všech modulů daného předmětu. Jednotlivé moduly, jejichž součástí byly pracovní listy, návody na laboratorní a terénní práce, studijní materiály a prezentace, zaměřené na aplikace či nové poznatky z daného oboru a další materiály a pomůcky, byly představeny nejprve na seminářích. Pro jejich účastníky i další zájemce byly tyto materiály připraveny v tištěné i elektronické formě, a to pro práci učitele i žáků, k ověření a využití v jejich vlastní praxi. Pro učitele a žáky středních škol v Praze byly veškeré výukové aktivity a materiály zdarma. Výukové materiály tvořili a semináře vedli pracovníci Přírodovědecké fakulty a Matematicko-fyzikální fakulty UK v Praze, které patří v uvedených oborech k nejvýznamnějším v České republice.

V předmětu chemie byly v rámci tohoto projektu připraveny moduly:

- Teoretická chemie prakticky
- Koordinační sloučeniny - chemická rarita nebo všední záležitost?
- Polymery a syntetické organické látky
- Lidský organismus a zdravý životní styl

Součástí modulu Koordinační sloučeniny – chemická rarita nebo všední záležitost? byl i seminář s tématem organokovových sloučenin. Cílem tohoto semináře bylo seznámit učitele s nejdůležitějšími poznatky, zákonitostmi, principy a příklady z tématu organokovových sloučenin. V tomto semináři byla využita prezentace připravená v MS Power Point, která byla rozdělena na tyto podkapitoly: důležité historické objevy v oblasti organokovových sloučenin, struktura organokovových sloučenin, příklady nejdůležitějších ligandů organokovových sloučenin, chemické vlastnostmi organokovových sloučenin, základy využití organokovových sloučenin

v chemické katalýze, příklady významných bioorganometalických dějů a současné trendy ve vývoji v oblasti organokovových sloučenin. Seminář se konal v jednom dni a trval přibližně tři hodiny. Celkově se semináře zúčastnilo dvacet pět posluchačů.

Ihned po skončení semináře byl účastníkům předložen dotazník, jehož cílem bylo zjistit, zda téma organokovových sloučenin učitele zaujalo, jestli si myslí, že by bylo vhodné a možné zařadit toto téma do výuky a jestli by měli zájem o nové podkladové materiály k výuce organokovových sloučenin. Dotazník obsahoval dvacet otázek a jeho kompletní znění je součástí přílohy 3. Otázky dotazníku byly seskupené do pěti skupin. První skupina otázek zjišťovala, zda se respondent s tématem organokovových sloučenin setkal v rámci studia na vysoké škole a jestli je toto téma součástí ŠVP školy, na které respondent vyučuje. Druhá skupina otázek zjišťovala, zda je možné téma organokovových sloučenin provázat s dalšími tématy ve výuce chemie. Třetí skupina otázek zjišťovala dostatečnost zdrojů, zejména tedy učebnic, používaných respondentem pro přípravu hodin o organokovových sloučeninách. Čtvrtá skupina otázek zjišťovala názor respondentů na zařazení organokovových sloučenin do výuky na středních školách. Poslední, pátá, skupina otázek zjišťovala zájem respondentů o nové výukové materiály s tématem organokovových sloučenin.

Z vyhodnocení tohoto dotazníku vyplývají následující závěry: V rámci první skupiny otázek zjišťujících, zda se respondent s tématem organokovových sloučenin setkal v rámci studia na vysoké škole, všichni dotázaní učitelé odpověděli, že se setkali s problematikou organokovových sloučenin během svého studia na vysoké škole. Všichni dotázaní učitelé byli zkušení a doba jejich praxe u všech překročila deset let. Všichni dotázaní byli také aprobovanými učiteli chemie a jejich další aprobační předměty byly nejčastěji biologie, matematika a informatika. Na otázku první skupiny dotazníku zjišťující zastoupení téma organokovových sloučenin v ŠVP škol respondentů 57 % respondentů odpovědělo, že ŠVP jejich školy obsahuje téma organokovové sloučeniny, ostatní respondenti (43 %) odpověděli, že ŠVP jejich školy organokovové sloučeniny neobsahuje. Tomu, jestli mají školy zařazené organokovové sloučeniny v ŠVP, odpovídají i požadavky k maturitní zkoušce. Tedy na školách, které mají organokovové sloučeniny v ŠVP se toto téma zkouší i u maturity, i když nemusí být vyčleněno jako samostatná otázka.

V rámci druhé skupiny otázek zjišťující přítomnost a rozsah výuky témat provázaných s organokovovými sloučeninami, všichni dotázaní uvedli, že probírají organokovové sloučeniny v souvislosti s komplexními sloučeninami a to jak názvosloví, tak jejich vlastnosti. Z 16 % se nevyučují reakce komplexních sloučenin a rozsah tohoto tématu je tedy užší, ale 84 % dotázaných učitelů vyučuje i reakce komplexních sloučenin. 71 % učitelů se ve výuce věnuje chemické katalýze. Učitelé probírají průběh energie reaktantů, homogenní i heterogenní katalýzu a příklady

výrob. Někdy je téma katalýzy vyčleněno zvlášť, jindy je probíráno průběžně v kontextu témat jiných. V 85 % učitelé vyučují polymerizaci a s ní spojenou problematiku produkce plastů a její vliv na životní prostředí. Nejčastěji se mluví o vlastnostech polymerů a uvádějí se jejich příklady. Mechanismus polymerizace vyučuje 71 % učitelů a zbytek jej vynechává. Všichni dotázaní učitelé chemie zdůrazňují při výuce potřebu péče o životní prostředí. Jako příklady v této souvislosti uvedli problematiku pesticidů, sloučenin olova, PET lahví a ftalátů a problematiku plastů. 83 % dotázaných uvedlo, že ve svých hodinách mluví o tom, že biologické organismy zabudovávají kovy do svých těl. Jako příklady nejčastěji uvádějí železo v hemoglobinu, hořčík v chlorofylu, dále kobalt, měď, zinek a selen.

V rámci třetí skupiny otázek zjišťujících dostatečnost používaných učebnic nebo jiných zdrojů pro přípravu vyučovacích hodin 66 % učitelů uvedlo, že používá učebnici, která obsahuje problematiku organokovových sloučenin. Z toho je ze 75 % zastoupená učebnice autorů Mareček, Honza *Chemie pro čtyřletá gymnázia* (1998), která v samostatné kapitole obsahuje pouze Grignardovy sloučeniny. 66 % učitelů vyjádřilo nespokojenost se zpracováním tématu organokovových sloučenin v dostupných učebnicích. Na otázku, jestli vyučují téma organokovových sloučenin v rozsahu používané učebnice, nikdo z učitelů neodpověděl kladně. Učitelé si toto téma z 66 % doplňují vlastními materiály. 83 % učitelů by pak rozhodně uvítalo rozšíření problematiky organokovových sloučenin v učebnicích. 16 % učitelů rozšíření podporuje pouze v souvislosti organokovových sloučenin se živými organismy.

V rámci čtvrté skupiny otázek zjišťujících názor na zařazení organokovových sloučenin do výuky 83 % dotázaných učitelů uvedlo, že si myslí, že se náplň výuky v předmětu chemie vyvíjí s ohledem na postupující úroveň poznání v chemii. Z tohoto tvrzení lze vyvodit závěr, že má smysl věnovat se aktuálním tématům jako jsou organokovové sloučeniny a s jejich nabývajícím důležitostí jim věnovat ve výuce více prostoru. 16 % procent pak souhlasí spíše s tvrzením, že výuka stagnuje vzhledem k postupu poznání. Z poznámek v komentářích respondentů ale vyplývá, že se snaží výuku aktivně dotvářet, tudíž se stagnací aktivně bojují a snaží se, aby se ve výuce objevovala aktuální témata. Všichni dotázaní učitelé pak souhlasí s tvrzením, že v rámci výuky o organokovových sloučeninách je možné procvičit a upevnit poznatky z organické a anorganické chemie. S tvrzením, že organokovové sloučeniny jsou příliš náročné a že by se měly vyučovat až na vysoké škole, nesouhlasí 83 % dotázaných učitelů. Všichni učitelé odpověděli, že souhlasí s tvrzením, že by organokovové sloučeniny měly být zařazeny v přiměřeném rozsahu již na středních školách.

V rámci páté skupiny zjišťující zájem respondentů o nové výukové materiály s tématem organokovových sloučenin otázek všichni dotazovaní uvedli, že by měli zájem o nově připravené materiály s tématem organokovových sloučenin. Po absolvování semináře označovali respondenti jako nejzajímavější téma spojené

s organokovovými sloučeninami nejčastěji chemickou katalýzu a na druhém místě pak organokovové sloučeniny v živých organismech a aplikace organokovových sloučenin. Všichni dotázaní by také měli zájem o nově vytvořené výukové materiály z oblasti chemie organokovových sloučenin.

Shrneme-li závěry vyplývající z dotazníku, zjistíme, že učitelé mají o téma organokovových sloučenin a souvisejícím tématem o chemické katalýze zájem, ale rozsah zpracování tohoto tématu v učebnicích je nedostatečný. Všichni dotázaní učitelé souhlasí s tvrzením, že v rámci výuky o organokovových sloučeninách je možné procvičit a upevnit poznatky organické a anorganické chemie. Všichni učitelé odpověděli, že souhlasí s tvrzením, že by organokovové sloučeniny měly být zařazeny v přiměřeném rozsahu již na středních školách, a že by měli zájem o nově vytvořené výukové materiály.

5 Závěry provedených analýz a úvod k didaktickému výkladovému textu

Závěr analýzy RVP, ŠVP a požadavků k maturitě

Z provedené analýzy rámcových vzdělávacích programů vyplývá, že téma organokovových sloučenin není přímo vyžadováno pro výuku chemie na středních školách, ale tento určující dokument dává prostor školám organokovové sloučeniny do výuky chemie začlenit. Následující analýza školních vzdělávacích programů potvrdila, že mnoho škol tento prostor využilo a téma organokovových sloučenin do výuky zařadilo. V některých školách jsou organokovové sloučeniny vyčleněny zvlášť jako samostatné téma, v jiných školách je téma organokovových sloučenin v určitém rozsahu začleněno do jiných tematických okruhů. Katalog požadavků k maturitě zmiňuje organoprvkové i organokovové sloučeniny a vyžaduje některé kompetence přímo spojené s tímto tématem. Navíc v některých dalších kapitolách jsou požadované kompetence, které s tématem organokovových sloučenin úzce souvisí. Podrobné výsledky a závěry analýzy RVP, ŠVP a požadavků k maturitě jsou uvedené v kap. 2.

Závěr analýzy učebnic

Kontrastem k závěrům analýz RVP a ŠVP a požadavků k maturitě je závěr provedené analýzy učebnic používaných v České republice. Téma organokovových sloučenin buď do českých učebnic chemie není začleněné vůbec, nebo je mu vyčleněn jen velmi malý prostor. Pokud učebnice téma organokovových sloučenin zmiňují, bývá zjednodušení tohoto tématu tak veliké, že se jeho náplň omezuje na definici a několik nejvýznamnějších příkladů. V řazení příkladů organokovových sloučenin ani v celém tématu není žádný systém. Každý autor učebnice považuje za důležité odlišné příklady organokovových sloučenin, viz kap. 3.

Závěr dotazníkového šetření

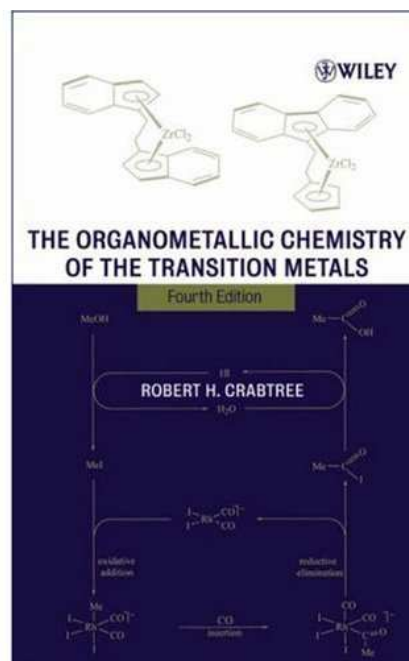
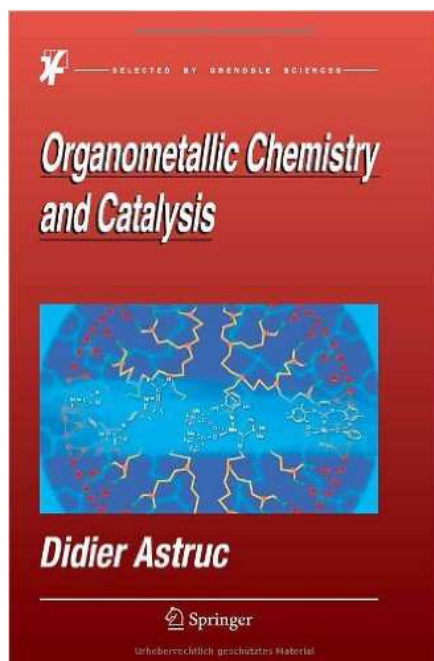
Další analýzou bylo provedené dotazníkové šetření v rámci Operačního programu Praha – Adaptabilita (OPPA) v němž probíhala celá řada vzdělávacích aktivit zaměřených na reálné potřeby učitelů. Účastníkům přednášek pořádaných v rámci tohoto programu byl předložen dotazník, z jehož vyhodnocení vyplývá, že učitelé mají o téma organokovových sloučenin a souvisejícím tématem o chemické katalýze zájem. Dalším závěrem je, že rozsah zpracování tohoto tématu v učebnicích je nedostatečný a učitelé jej často musí doplňovat vlastními materiály. A všichni dotázaní učitelé shodně odpověděli, že souhlasí s tvrzením, že by organokovové sloučeniny měly být zařazeny v přiměřeném rozsahu již na středních školách, a že by měli zájem o nově připravené materiály zaměřené na téma organokovových sloučenin. Podrobněji jsou výsledky a závěry dotazníkového šetření uvedené v kap. 4.

Přestože analýza ŠVP nebyla vyčerpávající, celoplošná a týkala se jen vzorku na internetu dostupných ŠVP omezeného počtu škol a stejně tak dotazníkového šetření v rámci projektu Přírodní vědy a matematika na středních školách v Praze: aktivně, aktuálně a s aplikacemi se zúčastnil jen malý vzorek populace učitelů chemie, lze z výsledků těchto analýz přesvědčivě vyčíst, že téma organokovových sloučenin je aktuální, má své místo v systému chemického vzdělávání a učitelé by o něj a o materiály, které se ho týkají, měli zájem. Zahrneme-li i závěr analýzy učebnic, která říká, že téma organokovových sloučenin je v českých učebnicích zpracováno nedostatečně, celkový závěr provedených analýz je jednoznačný: **Z provedených analýz vyplývá, že má smysl věnovat se tématu organokovových sloučenin ve výuce a že je vhodné vytvořit nové materiály, které se budou organokovovými sloučeninami zabývat.** Jako reakce na tento závěr vznikl *didaktický výkladový text* na téma organokovové sloučeniny, který je jedním z hlavních výstupů této disertační práce. Tento text je doplněn dalším výstupem, kterým je sada testových úloh, jejichž nejdůležitější úlohou je nastavit hloubku porozumění náplni tématu organokovových sloučenin přiměřeně úrovni odborných středních škol a gymnázií. Těmto úlohám je věnována kapitola 7. Oba texty společně jsou dále v této práci označovány jako *didaktický text*.

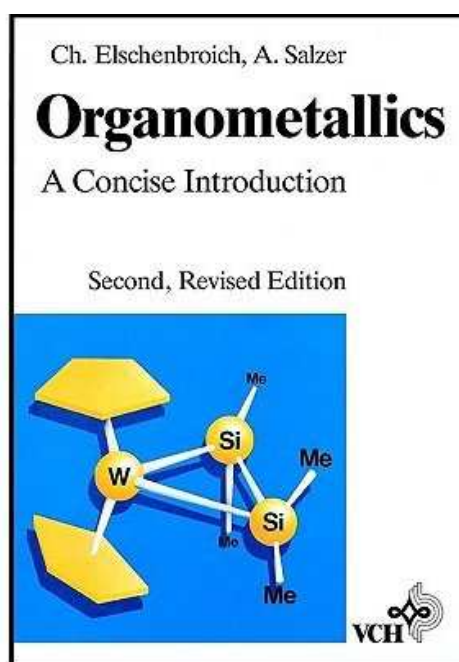
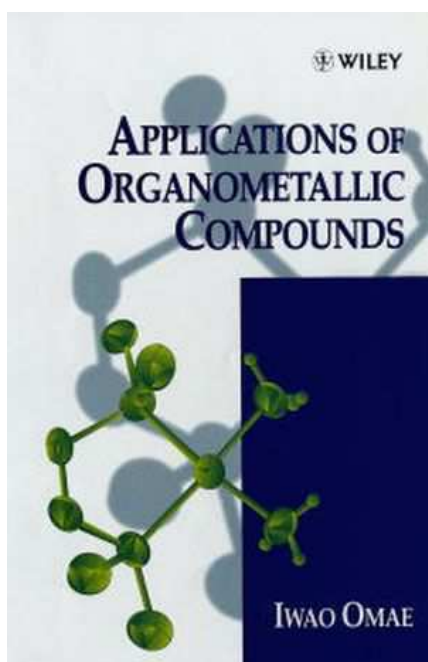
Úvod k didaktickému výkladovému textu

Jako stěžejní část podkladových materiálů pro tvorbu výkladového textu bylo použito několik monografií, které shrnují stav poznání v oboru organokovových sloučenin a věnují se jim v celé své šíři. Jedná se o *Organometallic Chemistry and Catalysis* autora D. Astruca (2007), *The Organometallic Chemistry of The Transitional Metals* autora R. Crabtreeho (2005), *Organometallics* autorů A. Salzera a Ch. Elsenbroicha (1992) a *Applications of Organometallics Compounds* autora I. Omae (1998). Ve všech případech se jedná o anglicky psané vysoce odborné monografie, jejichž obálky jsou na Obr. 5.1 a Obr. 5.2. Dále bylo jako podkladový materiál pro tvorbu výkladového textu použito česky psané skriptum D. Dvořáka *Chemie organokovových sloučenin přechodných kovů* (VŠCHT) a další monografie, které obsahují organokovové sloučeniny pouze jako jednu z kapitol např. *Organic Chemistry* autora F. A. Cyreyho (2008), dále bakalářská práce V. Peškové *Speciálie cínu ve vzorcích životního prostředí* (2008), vědecké články, prezentace s tématem organokovových sloučenin a webové stránky uvedené v kap. **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.****Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**

S použitím těchto odborných textů byl vytvořen didaktický výkladový text, pomocí něhož si mohou učitelé upevnit a rozšířit vlastní znalosti z oblasti chemie. Dále mohou učitelé použít tento didaktický text při přípravě vlastní vyučovací hodiny a to pro běžnou výuku nebo i semináře určené pro přípravu k maturitě, k přijímacím zkouškám a ke studiu na vysoké škole.



Obr. 5.1: Obálky Astruc a Crabtree



Obr. 5.2: Obálky Oae a Elsenbroich

Výkladový text respektuje rozdělení, jaké se nejčastěji používá v odborných textech o organokovových sloučeninách a rozřazuje celé téma organokovových sloučenin do kapitol, jejichž seznam je uveden v kap. 6.1. Z odborných monografií byly do výkladového textu vybrány nejvýznamnější pojmy, příklady důležitých sloučenin a sloučenin s praktickým významem. Ve výkladovém textu jsou zmíněné principy chemických dějů a výrob s významným dopadem na styl a úroveň života

zejména v hospodářsky vyspělých zemích. Celý výkladový text je ve srovnání s odbornými texty výrazně jednodušší ke čtení a je mnohonásobně zredukovaný, co se týče šíře obsahu. Při transformaci textu z vědecké úrovně do úrovně středoškolského vzdělávání je nutným předpokladem zachování odborné správnosti a je nutné dbát na to, aby při zjednodušování nevznikaly z odborného hlediska zavádějící myšlenkové konstrukce. Pro potřeby vzdělávání v České republice je výkladový text celý v českém jazyce, a je provázaný s dalšími tématy zejména z předmětu chemie, ale i biologie nebo fyziky. Vazby s ostatními tématy a předměty zajišťují možnost použití tématu o organokovových sloučeninách pro upevnění poznatků a principů z dříve probraných témat zejména v organické, anorganické, fyzikální chemii a biochemii.

K zpřehlednění výkladového textu slouží i několik grafických prvků. K vymezení nového pojmu bývá použita kurzíva při jeho prvním uvedení v textu a ke zdůraznění důležitého slova nebo sousloví je použito tučné písmo. Celý výkladový text je rozdělen do dvou nesymetrických sloupců. Hlavní široký sloupec je určený pro výklad a vysvětlení základního obsahu textu. Na pravé straně každé stránky textu je užší sloupec s odlišným typem a velikostí písma, který je určen pro informace navíc, detailnější vysvětlení nebo připomenutí poznatků z jiných oblastí chemie potřebných pro pochopení výkladu v hlavním sloupci.

Obrázky a schémata jsou zařazeny v obou sloupcích podle toho, jestli se jejich obsah vztahuje k základnímu obsahu kapitoly nebo k rozšiřujícímu obsahu v postranním sloupci. Výkladový text zahrnuje několik barevných obrázků v místech, kde je to významné, ale není jich příliš mnoho, aby se náklady na případný tisk těchto materiálů spíše přiblížily učebnicím, u kterých se hledí na nízkou pořizovací cenu. Celý výkladový text je v této práci zařazen v kap. 6.

Samostatné téma organokovových sloučenin navrhuji zařadit do výuky do vyšších ročníků středních škol po probrání derivátů uhlovodíků. Téma organokovových sloučenin úzce souvisí s tématy, jako jsou plasty, polymerizace, pesticidy, léčiva, takže by učitelé mohli organokovové sloučeniny s těmito tématy provázat. Buďto by učitelé mohli organokovové sloučeniny těmto tématům předřadit a existenci plastů, léčiv, pesticidů a dalších moderních látek odvodit jako důsledek používání organokovových sloučenin nebo by se naopak daly organokovové sloučeniny zařadit za tato zmíněná témata jako rozšiřující téma, které přivede studenty k porozumění výrobám moderních chemických látek do hloubky.

6 Výkladový text o organokovových sloučeninách

6.1 ÚVOD K ORGANOKOVOVÝM SLOUČENINÁM

Klíčová slova:

organokovové sloučeniny – definice, rozdělení, názvosloví, ligandy, karbonyly kovů

6.1.1 Vymezení organokovových sloučenin

Organokovové sloučeniny jsou definované jako sloučeniny, které mají v molekule alespoň jednu přímou vazbu mezi atomem kovu a atomem uhlíku, (Mehrotra a Singh, p. 1). Tato vazba může být iontová nebo kovalentní. Převažující iontový nebo kovalentní charakter vazby je důsledkem rozdílu elektronegativity mezi atomem kovu a atomem uhlíku. Protože různé kovy mají různou elektronegativitu, lze při průchodu periodickým systémem pozorovat plynulý přechod od převažující iontové povahy vazby ke kovalentní v závislosti na druhu kovu, který se vazby účastní (Carey, p. 580-581). Organokovové sloučeniny s převažující iontovou povahou vazby uhlík-kov jsou blíže popsány v kapitole 6.2, zatímco kovalentní organokovové sloučeniny jsou popsány v kapitole 6.3.

Ligandy jsou atomy nebo skupiny atomů, které se vážou k centrálnímu atomu kovu. V případě, že se jedná o *komplexní sloučeninu*, je ve vzorci použita hranatá závorka. Místo dlouhých názvů ligandů se často používají ve vzorcích zkratky, např., *Me* = *methyl*, *Et* = *ethyl*, *Pr* = *propyl*, *Bu* = *butyl*, *Ph* = *fenyl*, *Cp* = *cyklopentadienyl*.

Mezi organokovové sloučeniny se řadí i sloučeniny, které obsahují vazby uhlík-bór, uhlík-křemík, uhlík-arsen a uhlík-selen a další, protože chemické vlastnosti těchto prvků se v mnoha ohledech podobají kovům (Haiduc a Zuckerman, p. 3).

Existují i sloučeniny, které obsahují vazbu uhlík-kov, ale mezi organokovové sloučeniny se nezařazují. Jedná se např. o karbidy nebo karbonyly. **Karbonyly kovů** obsahují v molekulách karbonylové skupiny (CO) a často se používají jako výchozí látky k syntéze organokovových sloučenin. Příklady běžně dostupných karbonylů: $[\text{Cr}(\text{CO})_6]$, $[\text{Mn}_2(\text{CO})_{10}]$, $[\text{Fe}(\text{CO})_5]$, $[\text{Co}_2(\text{CO})_8]$, $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$.

Organokovové sloučeniny se anglicky označují jako *metal organyls* nebo *orgnometallic compounds*.

V komplexních sloučeninách poskytuje jeden z vazebných partnerů do vazby oba elektrony (donor) zatímco druhý je oba přijímá do své valenční sféry (akceptor). Taková vazba se označuje jako donor-akceptorová nebo dativní vazba.

Karbidy jsou sloučeniny uhlíku s elektropozitivnějším prvkem (s výjimkou vodíku).

Organokovové sloučeniny jsou obecně velmi reaktivní. A právě jejich reaktivita je vlastnost, která se uplatňuje v chemické praxi. Organokovové sloučeniny jsou využívány jako katalyzátory a reagenty při syntéze organických látek (Kozak, 2015).

Dále bylo objeveno mnoho organokovových sloučenin, které mají fyziologické účinky a používají se proto jako desinfekční prostředky, insekticidy a herbicidy nebo farmaceutika.

Organokovové sloučeniny vystupují i jako vysoce reaktivní meziprodukty při reakcích organických sloučenin se sloučeninami kovů a v katalytických reakcích. Příklady procesů a výrob, ve kterých jsou důležité organokovové katalyzátory a reagenty jsou uvedené průběžně v textu jednotlivých kapitol. S organokovovými sloučeninami se setkáváme i v biologických systémech. Příkladem přírodní organokovové sloučeniny je koenzym vitamínu B₁₂, který ve své struktuře obsahuje atom kobaltu.

6.1.2 Rozdělení organokovových sloučenin

Organokovové sloučeniny, které jsou odvozené od nepřechodných kovů, se obvykle rozlišují podle kovu, který obsahují a popisují se po skupinách v periodické soustavě prvků. Podle převažujícího charakteru chemické vazby mezi atomem kovu a uhlíku je lze rozdělit na sloučeniny iontové a kovalentní (Haiduc a Zuckerman, p. 3). Mezi **iontové organokovové sloučeniny** patří sloučeniny s kovy 1., 2. a 3. skupiny. 3. skupina prvků obsahuje již přechodné kovy, ale jejich organokovové sloučeniny mají iontový charakter. Dále se k iontovým organokovovým sloučeninám řadí organokovové sloučeniny lanthanoidů a aktinoidů. Mezi **kovalentní organokovové sloučeniny** se zařazují sloučeniny odvozené od kovů a metaloidů (B, Si, As, Se) 13.-16. skupiny a také sloučeniny s kovy 11. a 12. skupiny. 11. a 12. skupina obsahuje přechodné kovy, ale jejich organokovové sloučeniny mají kovalentní charakter.

Organokovové sloučeniny odvozené od zbývajících přechodných kovů se většinou nerozlišují podle atomu kovu jako organokovové sloučeniny nepřechodných prvků, ale spíše podle typů ligandů, které se ke kovu vážou na: **alkylové a arylové komplexy, karbeny a karbyny, π -komplexy a metaloceny a jiné sandwichové sloučeniny** (Elsenbroich a Salzer, p. 9).

Insekticidy jsou látky používané k hubení hmyzích škůdců, herbicidy jsou látky určené k hubení plevelů, farmaceutika jsou látky využívané v medicíně.

Koenzym je malá molekula nebílkovinné povahy, ze které vznikne po spojení s bílkovinnou částí – apoenzymem, vlastní aktivní enzym.

Metaloidy jsou prvky, které se svými chemickými vlastnostmi podobají kovům. Často se tento pojem nepřesně zaměňuje s termínem *polokovy*.

Ve výše uvedeném členění se shoduje více odborných monografií o organokovových sloučeninách, a proto je převzato i pro tvorbu tohoto didaktického textu. Toto členění je pro přehlednost shrnuto v následujícím seznamu a bude zachováno i v obsahu dalších kapitol. V závorce u některých položek seznamu jsou uvedeny prvky, jejich sloučeniny jsou v našem textu popisovány.

- **ORGANOKOVOVÉ SLOUČENINY**
 - **Organokovové sloučeniny nepřechodných kovů**
 - **Iontové organokovové sloučeniny**
 - 1. skupina (Li, Na)
 - 2. skupina (Mg)
 - 3. skupina
 - Lanthanoidy, aktinoidy
 - **Kovalentní organokovové sloučeniny**
 - 11. skupina (Cu, Ag, Au)
 - 12. skupina (Zn, Cd, Hg)
 - 13. skupina (B, Al, Ga, In, Tl)
 - 14. skupina (Si, Ge, Sn, Pb)
 - 15. skupina (As, Sb, Bi)
 - 16. skupina (Se, Te)
 - **Organokovové sloučeniny přechodných kovů**
 - Alkylové a arylové komplexy
 - Karbeny a karbyny
 - π -komplexy
 - Metaloceny a sandwichové sloučeniny

6.1.3 Názvosloví organokovových sloučenin

Názvy organokovových sloučenin se vytváří jako názvy substituovaných derivátů kovů. Kořenem názvu je systematický název kovu a připojené organické skupiny jsou označeny odpovídající předponou, např. *butyllithium* ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Li}$). Názvy kovů se uvádějí ve své latinské podobě, např. *natrium*, *kalium*, *magnesium* atd. U některých organokovových sloučenin se používají triviální názvy odvozené od českého názvu, např. *tetraethylolovo*.

Pro složité organické skupiny se často používají zkratky, např. pro propyl se používá *Pr*, pro butyl *Bu*, pro fenyl *Ph* a jiné. Pokud je v molekule organokovové sloučeniny elektronegativní skupina, která neobsahuje atom uhlíku, považuje se tato skupina za anion a je pojmenována samostatně, např. *methylmagnesiumiodid* (CH_3MgI) (Carey, p. 580, Pruchnik, p. 15).

Názvy organokovových sloučenin prvků As, Sb, Bi a Si, Ge, Sn a Pb lze odvozovat od názvů jejich základních hydridů, např. bismutanu (BiH_3), germanu (GeH_4), stannanu (SnH_4) plumbanu (PbH_4), nahrazením hydridových skupin za organické skupiny, takže např. diethylstannan (Et_2SnH_2), nebo tetraethylplumban (Et_4Pb) (Liška, p. 150).

Pro iontové sloučeniny se výjimečně používá název složený z názvu organického aniontu a kationtu kovu, např. acetylid stříbrný ($(\text{HC}\equiv\text{C})^-\text{Ag}^+$)

6.2 IONTOVÉ ORGANOKOVOVÉ SLOUČENINY

Klíčová slova:

organolithné sloučeniny, Grignardova činidla, alkylace, arylace, adice

Iontové organokovové sloučeniny obsahují iontovou vazbu uhlík-kov. Za iontové sloučeniny lze považovat organokovové sloučeniny odvozené od kovů 1. skupiny prvků (alkalických kovů), 2. skupiny (kovů alkalických zemin), 3. skupiny a organokovové sloučeniny odvozené od lanthanoidů a aktinoidů. Iontový charakter vazby uhlík-kov roste se zvětšujícím se rozdílem elektronegativity vazebních partnerů. Přítomnost iontové vazby v molekule způsobuje, že jsou tyto sloučeniny velmi reaktivní a citlivé na přítomnost vzduchu, vody a to často i za normálních podmínek (Astruc, p. 290).

V následující periodické tabulce na Obr. 6.1 jsou barevně vyznačeny prvky, které tvoří iontové organokovové sloučeniny. Modrou barvou jsou označeny s-prvky, červenou barvou přechodné kovy, jejichž organokovové sloučeniny se řadí k iontovým organokovovým sloučeninám, a žlutou barvou jsou označeny f-prvky (někdy zvané také jako super-přechodné kovy).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H vodík																	2 He helium
2	3 Li litium	4 Be beryllium											5 B bor	6 C uhlík	7 N dusík	8 O kyslík	9 F fluor	10 Ne neon
3	11 Na sodík	12 Mg hořčík											13 Al hliník	14 Si křemík	15 P fosfor	16 S síra	17 Cl chlor	18 Ar argon
4	19 K draslík	20 Ca vápník	21 Sc skandium	22 Ti titan	23 V vanad	24 Cr chrom	25 Mn mangan	26 Fe železo	27 Co kobalt	28 Ni nikl	29 Cu měď	30 Zn zinek	31 Ga galium	32 Ge germanium	33 As arsen	34 Se selen	35 Br brom	36 Kr krypton
5	37 Rb rubidium	38 Sr stroncium	39 Y yttrium	40 Zr zirkonium	41 Nb niob	42 Mo molybden	43 Tc technecium	44 Ru ruthenium	45 Rh rhodium	46 Pd palaadium	47 Ag stříbro	48 Cd cadmium	49 In indium	50 Sn olov	51 Sb antimon	52 Te télur	53 I jód	54 Xe xenon
6	55 Cs cesium	56 Ba baryum	57 La lanthan	72 Hf hafnium	73 Ta tantal	74 W wolfram	75 Re rhenium	76 Os osmium	77 Ir iridium	78 Pt platina	79 Au zlat	80 Hg rtuť	81 Tl thallium	82 Pb olovo	83 Bi bismut	84 Po polonium	85 At astat	86 Rn radon
7	87 Fr francium	88 Ra radium	89 Ac aktinium	104 Ku kurčatovium	105 Ha hahnium													
LANTHANOIDY			58 Ce cer	59 Pr praseodym	60 Nd neodym	61 Pm promethium	62 Sm samarium	63 Eu europium	64 Gd gadolinium	65 Tb terbium	66 Dy dysprosium	67 Ho holmium	68 Er erbitum	69 Tm thulium	70 Yb ytterbium	71 Lu lutecium		
AKTINOIDY			90 Th torium	91 Pa protaktinium	92 U uran	93 Np neptunium	94 Pu plutonium	95 Am amerikium	96 Cm curium	97 Bk berkelium	98 Cf kalifornium	99 Es einsteinium	100 Fm fermium	101 Md mendelievium	102 No nobelium	103 Lr lawrencium		

Obr. 6.1: Prvky, které tvoří iontové organokovové sloučeniny

Mezi *lanthanoidy* patří 14 prvků následující za lanthanem v periodické soustavě prvků. Analogicky 14 prvků za aktiniem označujeme jako *aktinoidy*. Lanthanoidy mají chemické vlastnosti podobné skandiu, yttriu a pochopitelně i lanthanu. Aktinoidy se svými vlastnostmi zase podobají aktiniu.

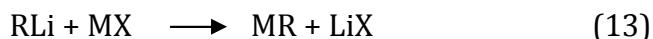
Podstatou iontové vazby jsou elektrostatické přitažlivé síly působící mezi opačně nabitými ionty. Přechod od iontové vazby ke kovalentní je však plynulý. V některých učebnicích se udává rozdíl elektronegativit 1,7 pro 50 % podíl iontovosti. Při větším rozdílu elektronegativit roste podíl iontovosti. (Vacík a kol., p. 87)

V okolí velkých iontů lanthanoidů a aktinoidů je dostatek prostoru pro více ligandů. Nejčastější koordinační číslo je 8-9 (u malých ligandů až 12). Naopak u extrémně objemných ligandů dosahuje jen 3-4.

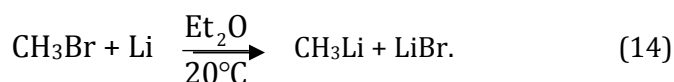
6.2.1 Organokovové sloučeniny alkalických kovů

Mezi nejčastěji používané organokovové sloučeniny alkalických kovů patří sloučeniny lithia a sodíku, např. *butyllithium* (BuLi) a *cyklopentadienylnatrium* (NaCp). Hlavní reakce, díky nimž našly tyto sloučeniny uplatnění v syntéze organických látek, jsou **alkylace**, **arylace** a také **adice**, tedy reakce, při nichž dochází k zavedení alkylu nebo arylu R organokovové sloučeniny do jiné molekuly typicky na násobné vazby (Astruc, p. 293). Pomocí *organolithných sloučenin* se syntetizují farmaceutické látky, zemědělské chemikálie, parfémy a používají se při výrobě syntetických pryží.

Významné jsou reakce organolithných sloučenin s halogenidy přechodných kovů i s halogenidy kovů hlavních skupin, které se využívají jako hlavní metoda přípravy ostatních organokovových sloučenin, viz rovnice 13. Organokovové sloučeniny lithia jsou celkově nejsilnější alkylační činidla vůbec. Základní způsob přípravy organokovových sloučenin pomocí organolithných sloučenin popisuje následující rovnice, ve které R označuje alkyl, M je obecně atom kovu a X je halogen.



Komerčně používané metody výroby alkylithných sloučenin v současnosti vychází přímo z kovového lithia, což popisuje rovnice 14.

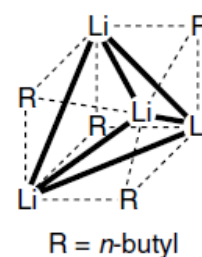


Citlivost organokovových sloučenin alkalických kovů na přítomnost vzduchu vyžaduje, aby s nimi bylo zacházeno pod ochrannou atmosférou inertního plynu (N_2 , Ar) a v suchém prostředí.

6.2.2 Organokovové sloučeniny kovů alkalických zemin

Mezi nejdůležitější organokovové sloučeniny prvků 2. skupiny patří sloučeniny hořčíku - tzv. **Grignardova činidla**, která mají velký význam v organické syntéze. Jejich obecný vzorec je RMgX , kde R označuje alkyl nebo aryl a X je halogen (Housecroft, 2004, p. 509). Konkrétním příkladem je pak *fenylmagnesiumbromid* - PhMgBr , zkratka *Ph* ve vzorci označuje ligand *fenyl*.

Organokovové sloučeniny lithia vytvářejí oligomerní (vícenásobné) jednotky v roztoku i pevném stavu. Struktura butyllithia (BuLi) v pevném stavu obsahuje 4 jednotky BuLi, viz Obr. 6.2.

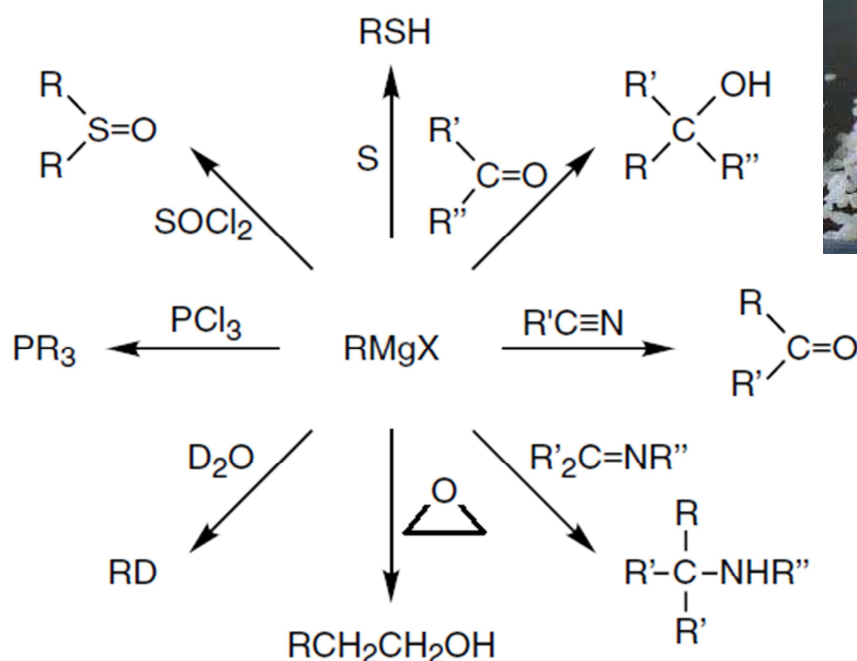


Obr. 6.2: Struktura BuLi, převzato z (Astruc, p. 290)

Za činidla nesoucí jeho jméno získal Victor Grignard Nobelovu cenu za chemii v r. 1912.

Stejně jako organokovové sloučeniny lithia slouží Grignardova činidla k přenesení organické části R do jiné molekuly, tedy jako alkylační a arylační činidla. RMgX jsou však méně reaktivní než RLi . Následující schéma reakcí Grignardových činidel na Obr. 6.3 je zařazeno pro ilustraci reakce přenosu zbytku R na mnoho různých substrátů a použití Grignardových činidel v mnoha syntézách. Je z něj patrné, že lze pomocí RMgX vyrábět alkoholy, ketony, aminy, thioly, sulfoxidy a fosfiny.

Grignardova činidla se běžně neizolují, ale připravují se zmíněnou reakcí v roztoku a ihned používají. Ukázka na Obr. 6.4 jsou izolované bílé krystaly fenylmagnesium chloridu (PhMgCl).

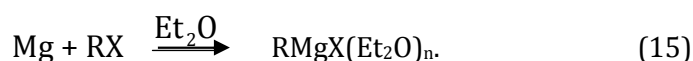


Obr. 6.4: Izolované krystaly Grignardova činidla

Obr. 6.3: Schéma reakcí Grignardových činidel (Astruc, p. 295)

Výslednými produkty, při jejichž výrobách se uplatňují Grignardova činidla, jsou farmaceutické látky, látky užívané v zemědělství, parfémy a kosmetika a další organokovové sloučeniny odvozené od jiných prvků, (Omae, p. 61).

Výhodou Grignardových činidel je jejich snadná příprava, kterou popisuje rovnice 15, ve které je X obecný symbol pro halogen. Syntéza Grignardových činidel vychází z kovového hořčíku, který při ní reaguje s halogenderiváty uhlovodíků. Jako rozpouštědlo se běžně užívá diethylether.



Povrch hořčíku při výrobě Grignardových sloučenin může být aktivován přidáním malého množství jódu, protože MgI_2 , který se tvoří, odstraňuje stopy vody z reakční směsi.

6.3 KOVALENTNÍ ORGANOKOVOVÉ SLOUČENINY

Klíčová slova:

organozinečnaté sloučeniny, organortuťnaté sloučeniny, biologická methylace, organoborité sloučeniny, hydroborace, organohlinité sloučeniny, růstová reakce, inserce, silikony, Müllerův-Rochowův proces, organocínicí sloučeniny, tetraethylolovo, aditiva do paliv, bojové chemické látky

Kovalentní organokovové sloučeniny jsou sloučeniny s kovalentními nebo slabě polárními vazbami. Do této kategorie řadíme organokovové sloučeniny prvků 11. - 16. skupiny, které jsou barevně vyznačeny v periodické tabulce na Obr. 6.5. Červeně jsou vyznačeny přechodné kovy, modře nepřechodné kovy a polokovy. 11. a 12. skupina obsahuje pouze kovy, ale 13. až 16. skupina obsahují kromě kovů i polokovy a nekovy. Mezi kovalentní organokovové sloučeniny se ke sloučeninám odvozeným od kovů zmiňovaných skupin zařazují i sloučeniny odvozené od nekovu bóru, polokovů, křemíku, germania, arsenu, selenu a kovu telluru, protože se chemické vlastnosti těchto prvků podobají chemickým vlastnostem kovů a s uhlíkem tvoří kovalentní vazby. Nekovové prvky ve zmiňovaných skupinách – dusík, fosfor, kyslík a síra také tvoří kovalentní vazby s uhlíkem, ale takové sloučeniny se mezi organokovové sloučeniny nezařazují, protože mají odlišné vlastnosti a spadají do obecnější kategorie organoprvkových a případně i organických sloučenin.

Podstatou kovalentní vazby je sdílení elektronů (elektronových párů) mezi oběma vazebnými partnery, (Vacík a kol., p. 87).

Některé významné organokovové sloučeniny mají kromě uhlíkatých ligandů i ligandy s atomy fosforu, dusíku nebo halogenů.

Organoprvkové sloučeniny jsou organické sloučeniny, které mají v molekule zabudované místo některých atomů uhlíku atom jiného prvku.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H vodík																	2 He helium
2	3 Li litium	4 Be beryllium											5 B bor	6 C uhlík	7 N dusík	8 O kyslík	9 F fluor	10 Ne neon
3	11 Na sodík	12 Mg hořčík											13 Al hliník	14 Si křemík	15 P fosfor	16 S síra	17 Cl chlor	18 Ar argon
4	19 K draslík	20 Ca vápník	21 Sc skandium	22 Ti titan	23 V vanád	24 Cr chrom	25 Mn mangan	26 Fe železo	27 Co kobalt	28 Ni nikl	29 Cu měď	30 Zn zinek	31 Ga galium	32 Ge germanium	33 As arsen	34 Se selen	35 Br brom	36 Kr krypton
5	37 Rb rubidium	38 Sr stroncium	39 Y yttrium	40 Zr zirkonium	41 Nb niob	42 Mo molybden	43 Tc technecium	44 Ru ruthenium	45 Rh rhodium	46 Pd paládium	47 Ag stříbro	48 Cd cadmium	49 In indium	50 Sn olovo	51 Sb antimon	52 Te tellur	53 I jod	54 Xe xenon
6	55 Cs cesium	56 Ba baryum	57 La lantán	72 Hf hafnium	73 Ta tantal	74 W wolfram	75 Re rhenium	76 Os osmium	77 Ir iridium	78 Pt platina	79 Au zlato	80 Hg rtuť	81 Tl thallium	82 Pb olovo	83 Bi bismut	84 Po polonium	85 At astat	86 Rn radon
7	87 Fr francium	88 Ra radium	89 Ac aktinium	104 Ku kurťáciovium	105 Ha hahnium													
LANTANOIDY				58 Ce cer	59 Pr praseodym	60 Nd neodym	61 Pm promethium	62 Sm samarium	63 Eu europium	64 Gd gadolinium	65 Tb terbium	66 Dy dysprosium	67 Ho holmium	68 Er erbidium	69 Tm thulium	70 Yb ytterbium	71 Lu lutecium	
AKTINOIDY				90 Th thorium	91 Pa protaktinium	92 U uran	93 Np neptunium	94 Pu plutonium	95 Am amerikium	96 Cm curium	97 Bk berkelium	98 Cf kalifornium	99 Es einsteinium	100 Fm fermium	101 Md mendelévium	102 No nobelium	103 Lr lawrencium	

Obr. 6.5: Prvky, které tvoří kovalentní organokovové sloučeniny

Organokovové sloučeniny nepřechodných kovů 11. a 12. skupiny se zařazují ke kovalentním organokovovým sloučeninám přechodných kovů, neboť se jim podobají svými chemickými vlastnostmi. Důvodem této podobnosti jsou zcela zaplněné d-orbitaly, které tak nemají vliv na chemické vlastnosti těchto prvků jako u ostatních přechodných kovů, které své nezaplněné d-orbitaly zapojují do chemických vazeb s dalšími atomy (Omae, p. 489).

Kovalentní charakter vazby uhlík-kov plynule roste se zmenšujícím se rozdílem elektronegativity vazebních partnerů. Elektronegativity zmiňovaných prvků je možné porovnat podle Tabulka 6-1 uvedené ve sloupci vpravo. Z uvedených prvků se od elektronegativity uhlíku nejvíce liší hliník a zinek.

Jako obecný zástupný symbol se pro prvky 13. - 16. skupiny ve vzorcích často používá *E* - element. Kovalentní organokovové sloučeniny se popisují po skupinách periodické tabulky podle toho, jaký prvek obsahují. Toto členění bude zachováno i v dalším textu a následující podkapitoly budou odpovídat skupinám periodické tabulky prvků.

6.3.1 11. skupina (Cu, Ag, Au)

11. skupina periodické tabulky prvků obsahuje měď, stříbro a zlato. Měď a stříbro vystupují v organokovových sloučeninách výlučně v oxidačním čísle I, zatímco v organokovových sloučeninách zlata se vyskytuje zlato i v oxidačním čísle III. Reaktivita organokovových sloučenin těchto prvků klesá v řadě od mědi přes stříbro k zlatu, což odpovídá klesajícímu rozdílu elektronegativity mezi kovem a uhlíkem. V dalším textu se budeme věnovat pouze organokovovým sloučeninám mědi, protože z prvků 11. skupiny zatím pouze tyto sloučeniny našly praktické využití v organické syntéze.

Jednoduché sloučeniny jako CuMe, kde *Me* označuje methyl, jsou teplotně nestabilní a velmi citlivé na přítomnost vzduchu a vody. Mezi organokovovými sloučeninami prvků 11. skupiny jsou významné komplexy mědi zvané také **kupráty**, které se popisují obecným vzorcem $[LiCu^IR_2]$, kde *R* je aryl, alkynyl, perfluoroalkyl, nebo jiný uhlovodíkový zbytek.

Tabulka 6-1:

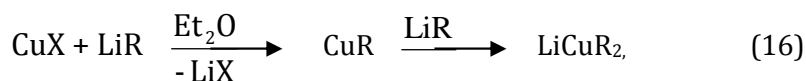
Elektronegativity prvků tvořících kovalentní organokovové sloučeniny

Prvek	Elektronegativita
Cu	1,90
Ag	1,93
Au	2,54
Zn	1,65
Cd	1,69
Hg	2,00
B	2,04
Al	1,61
C	2,55
Si	1,90
Sn	1,96
Pb	2,33
As	2,18
Se	2,55

CuMe exploduje při teplotě převyšující -15 °C.

Aryly jsou uhlovodíkové zbytky odvozené od arenů, perfluoroalkyly jsou odvozené od perfluoroalkanů, což jsou alkany, ve kterých jsou všechny atomy vodíku nahrazeny fluorem, a alkynyly jsou zbytky odvozené od alkynů.

Konkrétním příkladem kupráty je $[\text{LiCuPh}_2]$, kde *Ph* je fenyl. Kupráty se připravují s využitím organolithných sloučenin, jak popisuje rovnice 16,



ve které *X* označuje halogen, *R* označuje uhlovodíkový zbytek a *Et* označuje ethyl, (Astruc, p. 314).

Kupráty se používají v organické syntéze k přenosu skupiny *R*, tedy např. k arylaci karbonylových skupin, nitrilů a epoxidů a ke spojovacím reakcím, což jsou reakce, ve kterých se vzájemně spojují uhlovodíkové zbytky *R* a vznikají tak nové vazby C-C.

Anglický název spojovacích reakcí - *coupling* vychází z anglického slovesa *couple*, což znamená spárovat, vytvořit pár.

6.3.2 12. skupina (Zn, Cd, Hg)

12. skupina periodické tabulky prvků zahrnuje zinek, kadmium a rtuť. Tyto kovy vystupují v organokovových sloučeninách nejčastěji v oxidačním čísle II. Reaktivita organokovových sloučenin těchto prvků klesá v řadě od zinku přes kadmium ke rtuti, což opět odpovídá klesajícímu rozdílu elektronegativity mezi kovem a uhlíkem.

Organozinečnaté sloučeniny lze souhrnně popisovat obecnými vzorci ZnR_2 a RZnX , ve kterých *R* označuje uhlovodíkový zbytek a *X* označuje halogen. Vazba zinek-uhlík v těchto sloučeninách je slabě polární. Konkrétním příkladem organokovové sloučeniny zinku je ZnEt_2 . Alkyl nebo aryl sloučeniny zinku ZnR_2 jsou monomerní sloučeniny a jejich molekuly jsou lineární - mají tvar přímky. Tyto sloučeniny jsou za normální teploty kapalné a při přístupu vzduchu mnohdy samozápalné. Chemické chování organozinečnatých sloučenin se podobá organohořečnatým a organolithným sloučeninám, avšak jejich reaktivita je poněkud nižší (Elsenbroich a Salzer, p. 49). ZnR_2 slouží tudíž jako alkylační činidla a doplňují svým použitím LiR , RMgX a kupráty, ale používají se tam, kde je zapotřebí mírnějších reakčních podmínek (Svoboda, p. 192). Na rozdíl od LiR a RMgX například nereagují organozinečnaté sloučeniny s karboxylovými kyselinami a dvojnými vazbami. Organozinečnaté sloučeniny se používají např. k alkylaci halogenidů přechodných kovů a připravují se tak organokovové sloučeniny odvozené od přechodných kovů.

Výchozí surovinou pro přípravu ZnEt_2 je zinkový prášek, který se aktivuje např. ultrazvukem a reaguje následně s ethyljodidem v přítomnosti mědi. (Katritzky, p. 591)

Využívání organozinečnatých reagentů v organické syntéze se v současnosti rozšiřuje. Simmons-Smithovo činidlo (ICH_2ZnI) je příkladem organokovové sloučeniny, která se používá k syntéze cyklopropanů.

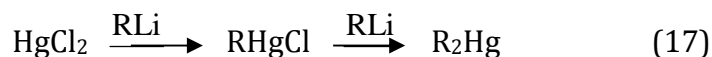
Organokademnaté sloučeniny, např. CdEt_2 , mají vlastnosti velmi podobné organozinečnatým sloučeninám. Jejich nižší reaktivita se využívá zejména při syntéze ketonů. (Elsenbroich a Salzer, p. 50).

Organortuťnaté sloučeniny jsou z historických důvodů a z důvodu intenzivního hledání farmakologicky aktivních sloučenin pečlivě prozkoumanou skupinou látek. Organortuťnaté sloučeniny jako např. PhHgOR našly využití jako fungicidy, baktericidy a antiseptika. Jejich praktické použití je však silně omezeno jejich mimořádnou nebezpečností (toxicitou) (Čermák, 2014).

Kovová rtuť ve formě Hg^{2+} je v živých mikroorganismech zabudovávána do podoby organokovových sloučenin v průběhu procesu zvaném *biologická methylace*, kdy se přeměňuje anorganická forma rtuti na extrémně toxické ionty CH_3Hg^+ . Denní dávka 0,3 mg CH_3HgX , kde X je halogen, přijímaná ústně už vede k příznakům otravy. Některé sloučeniny typu CH_3HgX jsou rozpustné ve vodě, což vede k jejich distribuci v ekosystémech a koncentrování rtuti v potravním řetězci, zejména v mase ryb.

Jedovatost částic MeHg^+ spočívá v tom, že blokují thiolové ($-\text{SH}$) skupiny enzymů, což znemožňuje jejich funkci. Dále se vážou na pyrimidinové báze (uracil a thymín), čímž způsobují deformace chromosomů (jsou mutagenní) (Elsenbroich a Salzer, p. 54).

Nejdůležitější organortuťnaté sloučeniny typu R_2Hg , kde R označuje uhlovodíkový zbytek, např. Et_2Hg , kde Et označuje ethyl, jsou těžké velmi toxické sloučeniny. Sloučeniny typu RHgX , např. CH_3HgCl jsou krystalické pevné látky rozpustné ve vodě. Organortuťnaté sloučeniny je možné vyrobit alkylací chloridu rtuťnatého (HgCl_2) lithnými nebo Grignardovými činidly. Přípravu pomocí lithných sloučenin popisuje rovnice 17.



6.3.3 13. skupina (B, Al, In, Ga, Tl)

Mezi organokovovými sloučeninami odvozenými od prvků 13. skupiny jsou prakticky nejvýznamnější ty, které obsahují bor a hliník. Některé prováděné výzkumy se ale zaměřují i na organokovové sloučeniny galia a india z hlediska jejich využití pro přípravu ultračistých slitin pro výrobu tenkých polovodivých vrstev v elektrotechnice. Použití thallia je jen omezené pro toxicitu tohoto prvku. V dalším textu budou uvedeny jen organokovové sloučeniny dvou prvně zmíněných prvků.

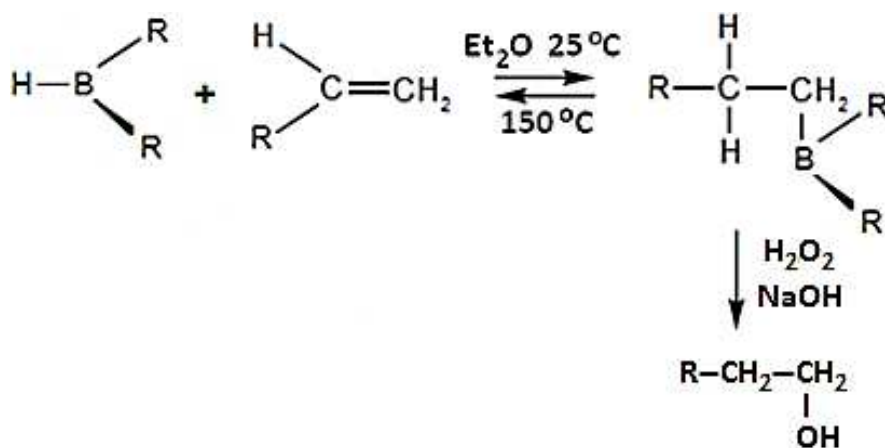
Na **organoborité sloučeniny** lze pohlížet, jako by byly odvozené od jednoduché látky boranu (BH_3), a proto se také označují jako **organoborany** nebo jen zkráceně **borany**. Tyto sloučeniny mají složení popsané obecnými vzorci BR_3 , BH_2R , BHR_2 , kde R je alkyl nebo aryl. Stejně lze odvodit *halogenoborany* od halogenidu boritého, např. chloridu boritého (BCl_3). Postupným nahrazováním chloridových ligandů uhlovodíkovými zbytky odvodíme jejich obecné vzorce BRCl_2 a BR_2Cl . Konkrétními příklady jsou BMe_3 , PhBCl_2 nebo EtBCl_2 , kde Me označuje methyl (CH_3), Et označuje ethyl (C_2H_5) a Ph označuje fenyl (C_6H_5). Lehčí borany jsou plynné látky a v přítomnosti vzduchu samozápalné, těžší borany jsou těkavé kapaliny (Červinka, p. 417).

Organoborany se připravují mnoha způsoby. Přímá syntéza se nepoužívá, protože čistý bór je drahý a nereaktivní (Elsenbroich a Salzer, p. 57). BR_3 se připravují pomocí organohořečnatých činidel, jak popisuje následující schéma:



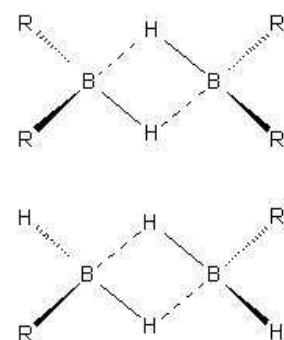
Et označuje ethyl a *X* označuje halogen. Výchozí látkou pro přípravu jsou halogenoborany (nejčastěji adukt $\text{BF}_3 \cdot \text{OEt}_2$) rozpuštěné např. v diethyletheru (Et_2O).

Důležitou aplikací boranů v organické syntéze je **hydroborace alkenů**. Hydroborace alkenů je adice organoboranů na dvojnou vazbu v molekulách alkenů. Tak vznikají molekuly, ze kterých lze v dalším kroku syntézy snadno připravit širokou paletu derivátů zavedením nové funkční skupiny, např. OH , Cl a dalších náhradou připojené boranové skupiny. Hydroborace se využívá zejména při výrobě primárních alkoholů. Princip hydroborace terminálních alkenů je popisuje schéma na Obr. 6.7 (Friedl, 2015).



Obr. 6.7: Princip hydroborace alkenů, upraveno dle (Elsenbroich a Salzer, p. 60)

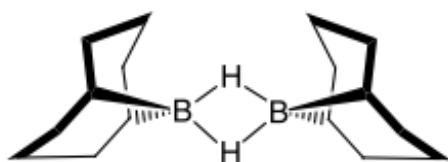
BH_3 a BCl_3 jsou velmi reaktivní látky. Hydridy R_2BH a RBH_2 tvoří dimery prostřednictvím vodíkových můstků viz Obr. 6.6. Borany typu BR_3 jsou monomerní molekuly.



Obr. 6.6: Struktury boranů, převzato z (Elsenbroich a Salzer, p. 59)

Hydroborace formálně probíhá **proti** Markovnikovovu pravidlu. Toto pravidlo říká, že se H při adici naváže na atom uhlíku, který nese více atomů vodíku.

K hydroboraci se používají borany s objemnými ligandy, protože s jejich použitím je ve směsi produktů zastoupeno méně produktů (izomerů), tzn., že příznivě ovlivňují *selektivitu reakce*. Příkladem používaného boranu je sloučenina zkráceně nazývaná 9-BBN, která obsahuje uhlovodíkový bicyklus připojený k atomům bóru. Jak je patrné ze vzorce boranu 9-BBN na Obr. 6.8, i tato sloučenina tvoří dimer (Housecroft, 2014, p. 837).



Obr. 6.8: Struktura 9-BBN, převzato z (Astruc, p. 322)

V předchozí rovnici hydroborace vystupuje organoboran jako monomer (čehož se dosáhne rozpuštěním 9-BBN v Et₂O). Hydroborace probíhá také na dvojných vazbách aldehydů a ketonů, u kterých probíhá reakce selektivně na karbonylové skupině za současné redukce.

Organohlinité sloučeniny lze popsat obecným vzorcem AlR₃, kde R je alkyl, např. AlEt₃, popřípadě mohou obsahovat v molekule halogenidové ligandy (X) - R₂AlX nebo RAlX₂, např. Et₂AlCl nebo EtAlCl₂. Organohlinité sloučeniny jsou velmi reaktivní, ale s rostoucím počtem halogenidových ligandů v molekule jejich reaktivita znatelně klesá. Jedná se o bezbarvé kapaliny, které prudce až explozivně reagují s vodou i vzduchem (Greenwood, a další, p. 258). Organohlinité sloučeniny se vyrábějí ve velkých množstvích z kovového hliníku a alkylchloridů (např. MeCl) nebo z alkenů a vodíku.

Nejvýznamnější aplikací organohlinitých sloučenin je **výstavbová reakce (aufbaureaktion)**, objevená K. Zieglerem. Při této reakci probíhá opakovaně **inserce** ethenu do vazby Al-C organohlinitých sloučenin tzn., že se opakovaně vkládají monomerní jednotky H₂C=CH₂ mezi atomy hliníku a uhlíku a uhlovodíkový řetězec organohlinité sloučeniny tím roste. Délky řetězce při růstové reakci dosahují až kolem dvou set atomů uhlíku. Po dosažení této délky řetězce převládá eliminační reakce nad insercí a uhlovodíkový řetězec se uvolní. Na jeho místě na atomu hliníku zůstává nově příchozí částice ethenu a započne růst nového „vlákna“.

Systematický název 9-BBN je bis-(9-borabicyklo[3,3,1]nonan).

Organohlinité sloučeniny, ve kterých R = Me, Et, n-Pr, iBu, Ph, tvoří dimery v pevném stavu i v roztoku. Vazba Al-Al v dimeru [Al₂Me₆] je relativně krátká (260 nm), což je skoro stejně jako v kovovém hliníku (256 nm).

Anglicky *insert* znamená vložit, zastrčit.

Růstová reakce je nezbytným krokem při výrobě 1-alkenů a nerozvětvených primárních alkoholů, ze kterých se vyrábějí ve velkých množstvích biologicky odbouratelné povrchově aktivní látky tzv. detergenty a saponáty. Růstová reakce se uplatňuje také při výrobě isoprenu jako výchozí látky pro výrobu syntetických pryží (polyisoprenu).

Organohlinité sloučeniny se v masivní míře uplatňují jako složka Ziegler-Nattových iniciátorů se složením $\text{Et}_2\text{AlCl}/\text{TiCl}_3$, které se používají při průmyslové výrobě polyethylenu a polypropylenu v obrovském měřítku (15 milionů tun PE ročně) (Omae, p. 116).

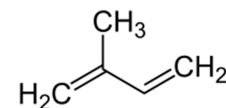
Organohlinité sloučeniny jsou navíc účinná a levná alkylační činidla. Pro syntetické aplikace je důležité, že se organohlinité sloučeniny doplňují s organolithnými sloučeninami a Grignardovými činidly, viz kapitola 6.2. Zatímco LiR a RMgX se typicky adují na polární násobné vazby jako $\text{C}=\text{O}$ a $\text{C}\equiv\text{N}$ a jejich schopnost adice na násobné vazby uhlík-uhlík je omezená, AlR_3 zase vynikají v ochotě adovat se na násobné vazby alkenů ($\text{C}=\text{C}$) a alkynů ($\text{C}\equiv\text{C}$).

6.3.4 14. skupina (Si, Ge, Sn, Pb)

14. skupina periodické tabulky prvků obsahuje uhlík, křemík, germanium, cín a olovo. Organokovové sloučeniny odvozené od těchto prvků jsou tedy sloučeniny uhlíku s prvky ze stejné skupiny. Křemík, germanium, cín i olovo vystupují v organokovových sloučeninách převážně jako čtyřvazné stejně jako uhlík – prvek periodické soustavy, pod kterým se tyto kovy nacházejí. Organokovové sloučeniny prvků 14. skupiny mají rozsáhlé technické uplatnění (kromě germania, kterému se proto nebudeme v dalším textu věnovat).

Organokřemičité sloučeniny jsou pro svůj velký technický význam často komerčně běžně dostupné. Jako zástupce organokřemičitých sloučenin je potřeba zmínit dvě skupiny látek: *organosilany*, což jsou analogické látky k uhlovodíkům složené pouze z atomů křemíku a vodíku, a *polysiloxany*, ve kterých navíc v řetězcích vystupuje ještě kyslík. Organosilany jsou látky, které se skládají z řetězců jednotek $\text{R}_3\text{Si}-$ a $-\text{R}_2\text{Si}-$, kde R jsou uhlovodíkové zbytky. Kvůli odolnosti a netečnosti vazeb $\text{Si}-\text{C}$ se u organokřemičitých sloučenin, ale i odvozených sloučenin (halogenidů, hydroxidů, alkoksidů a amidů) vytrácí vlastnosti typických organokovových látek, které jsou obvykle mnohem reaktivnější (Elsenbroich a Salzer, p. 100).

Při výrobě isoprenu, viz Obr. 6.9, se na místo ethenu použije propen a inserce proběhne pouze jednou.



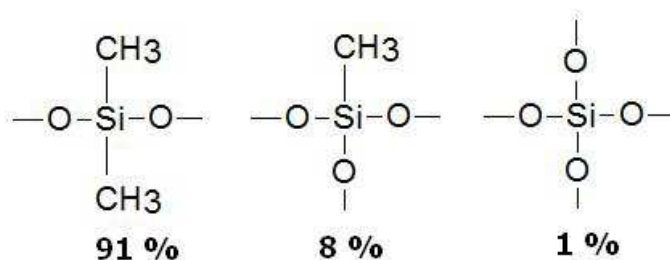
Obr. 6.9: Isopren, upraveno dle (Kedrová, 2016)

Vlastnost, kdy dochází k reakci na určitém místě molekul bez poškození jiných míst, se označuje jako *chemoselektivita*.

Rozklad vazby $\text{Si}-\text{C}$ probíhá až při $700\text{ }^\circ\text{C}$.

Sloučeniny s obecným vzorcem SiR_4 jsou tepelně stabilní a to i při styku s vodou a často i vzduchem. Z organosilanů např. $(\text{MeSiH})_n$ a $(\text{SiMe}_2)_n$ se vyrábí termickým rozkladem keramická vlákna, která mají složení karbidů křemíku SiC a extrémě vysokou odolnost v tahu.

Nejvýznamnější organokřemičité sloučeniny jsou *polysiloxany*, neboli **silikony**. Jejich molekuly tvoří řetězce $(-\text{R}_2\text{Si}-\text{O}-)_n$, kde R je nejčastěji methyl. Tyto řetězce mají velké množství jednotek (n). Podle stupně sesíťování těchto řetězců vznikají silikonové oleje, elastické látky nebo pryskyřice. Větvení a sesíťování řetězců vzniká v místech, kde jsou zabudovány jednotky, které mají místo jedné nebo obou methylových skupin navázané atomy kyslíku. Tyto jednotky jsou zobrazeny na Obr. 6.10 uprostřed a vpravo, zatímco vlevo je jednotka, ze kterých jsou sestavena vlákna silikonů mimo místa větvení (Lederer, 2015).



Obr. 6.10: Stavební jednotky silikonů

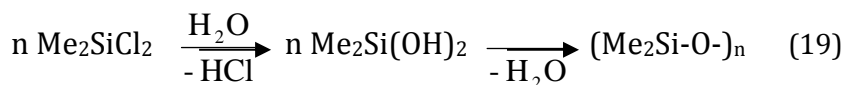
Všechny tyto jednotky jsou zastoupeny ve výchozí směsi látek pro výrobu silikonů, která vzniká v Müllerově-Rochowově procesu, viz dále. Procento jejich zastoupení ve směsi je uvedeno pod vzorci (Elsenbroich a Salzer, p. 101).

Mimořádné mechanické vlastnosti silikonů jako jsou pevnost a pružnost vycházejí z vlastností jejich vlákna z řetězců $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$ a z hydrofobní povahy připojených skupin R . Silikony jsou vysoce tepelně odolné, nejsou toxické, s teplotou se nemění jejich viskozita a nepodléhají oxidaci. Silikony netvoří pěnu, mají vodoodpudivé vlastnosti a díky s fyziologicky neškodné povaze jsou použitelné i v lékařství a chirurgii (Astruc, p. 332). Z elastických silikonů lze vyrábět tělní implantáty nebo je lze používat k vyplňování netěsností a tmelení. Silikonové oleje jsou vhodné pro impregnace textilních vláken, jako lubrikanty a maziva např. při uvolňování odlitků z forem nebo jako léky proti nadýmání. Silikonové pryskyřice slouží jako pojiva pro odolné nátěrové hmoty a barvy a mnoha jiných aplikacích (Veselý, 2008).

První silikony byly připraveny Landenburgerem již v r. 1872. Výroba ve velkém byla, ale spuštěna až po r. 1953, kdy vyvstala potřeba nových materiálů speciálních vlastností.

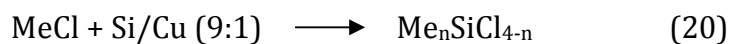
Polymethylhydrosilan $[-\text{Si}(\text{H})(\text{Me})-\text{O}-]_n$ je levný vedlejší produkt silikonového průmyslu, který se používá pro redukci karbonylových sloučenin. Např. triacylglyceroly se s jeho použitím v kosmetickém průmyslu redukuje na alkoholy v tunových množstvích.

Ročně se vyrobí asi 700 000 tun silikonů (r. 1997). Výroba silikonů má dva kroky a popisuje ji rovnice 19.



Prvním krokem je hydrolýza produktů, které vznikají v tzv. Müllerově-Rochowově procesu a druhým krokem je vznik řetězců silikonu kondenzací.

Müllerův-Rochowův proces je průmyslová výroba organokřemičitých sloučenin, která se neprovádí klasicky jako přípravy většiny ostatních organokovových sloučenin alkylací pomocí lithných nebo Grignardových činidel. Jeho princip shrnuje rovnice 20.



Při tomto procesu vzniká z methylchloridu a křemíku v přítomnosti mědi při teplotě 300 °C směs organokřemičitých sloučenin se složením $\text{Me}_n\text{SiCl}_{4-n}$, kde $n = 1 - 4$. Výhodou tohoto procesu je, že nevzniká jedna chemicky čistá látka, ale směs látek, protože tato směs obsahuje i látky, které se uplatní v místech větvení a sesítování vláken při výrobě polymerních silikonů (Elsenbroich a Salzer, p. 100, a Červinka, p.413).

Organocínité sloučeniny jsou sloučeniny obsahující kovalentní vazbu uhlík–cín. Komerčně se využívají tetra- (R_4Sn), tri- (R_3SnX), di- (R_2SnX_2) a mono-organocínité sloučeniny (RSnX_3), kde organickou skupinou R je např. methyl, butyl, oktyl, cyklohexyl nebo fenyl a X je halogen. Bu_4Sn je bezbarvá nebo nažloutlá olejová kapalina, zatímco Bu_3SnCl je bezbarvá kapalina, Bu_2SnCl_2 je bílá krystalická látka (Pešková, p. 5).

Organokovové sloučeniny cínu s nasycenými uhlovodíkovými zbytky typu R_4Sn jsou netečné vůči kyslíku a vodě a jsou obvykle teplotně stálé (Me_4Sn se rozkládá při teplotě nad 400 °C). Organokovové sloučeniny cínu s nenasycenými ligandy (např. $(\text{CH}_2=\text{CH})_4\text{Sn}$) jsou méně stabilní, ale jejich větší reaktivita je výhodná při aplikacích v organické syntéze. Sloučeniny typu R_2SnX_2 , např. Me_2SnCl_2 nebo Bu_2SnCl_2 , se používají jako stabilizátory PVC a polyuretanových pěn a tvoří 60 % celkové výroby organokovových sloučenin cínu (Elsenbroich a Salzer, p.137). Výhodou těchto stabilizátorů je skutečnost, že degradují na netoxické produkty (viz dále).

Stabilizátory PVC vážou atom chloru v reaktivních oblastech polymeru, což potlačuje jeho rozklad při závěrečných fázích výroby a později rozklad působením UV záření.

Sloučeniny typu R_3SnX se využívají jako pesticidy, fungicidy, ochranné složky barev a desinfekční prostředky a tvoří 30 % výroby organocínitých sloučenin. Pesticidy se aplikují v zemědělství k ochraně rostlin a jsou účinné proti živočišným škůdcům. Fungicidy jsou látky, které zabraňují vytváření škodlivých biologických povlaků na zdivu, dřevu nebo např. na trupech lodí (Pešková, p. 7), protože zabraňují množení plísní a hub. Konečná přeměna organokovových látek cínu v přírodě na zcela netoxický SnO_2 je jejich velmi výhodná vlastnost.

Dalším příkladem aplikace organokovových sloučenin cínu v organické syntéze jsou *hydrostannace*, což jsou adice organocínitých sloučenin na násobné vazby v uhlíkových řetězcích, které slouží pro konstrukci nových Sn-C vazeb (Elsenbroich a Salzer, p. 127). Tyto sloučeniny pak mohou vstoupit do tzv. *Stilleho reakce*, což je *spojovací reakce*, která je důležitá pro syntézu organických látek. Při této reakci se navzájem spojuje uhlíkový řetězec organokovové sloučeniny v místě původně navázaného atomu kovu s halogenderivátem RX a vznikají nové vazby C-C. Hydrostannace probíhají selektivně jen na katalyzátory aktivovaných C=C vazbách a nenaruší jiné násobné vazby, např. C=O skupiny.

Ročně se vyrobí 35 000 tun organocínitých sloučenin. Hlavní metody výroby organocínitých sloučenin vycházejí z $SnCl_4$, který je alkylován Grignardovými činidly, což popisuje rovnice 21.



Organoolovičité sloučeniny. Zatímco anorganickým sloučeninám olova dominuje oxidační stav +II, v chemii organokovových sloučenin převládá u olova oxidační číslo +IV, z nichž největší význam mají tetraalkylolovičité sloučeniny obecného vzorce R_4Pb , kde R je uhlovodíkový zbytek.

Jednoduché organoolovičité sloučeniny jsou bezbarvé, vysoce reaktivní toxické kapaliny. Me_4Pb má bod varu při 110 °C a Et_4Pb vře při 78 °C. Ph_4Pb je bílá krystalická látka s bodem tání při 223 °C.

Toxicita organokovových sloučenin cínu roste s počtem alkylových řetězců na atomu cínu a s jejich zkracující se délkou. Nejtoxičtější jsou tedy materiály, které mohou uvolnit Me_3Sn^+ ionty.

Při běžných podmínkách nereagují tyto sloučeniny ani s vodou ani se vzduchem a nerozkládají se působením světla. Při zvýšených teplotách se rozkládají na olovo, alkeny a vodík (Elsenbroich a Salzer, p. 139).

Tetraethylolovo (Et_4Pb) se užívalo od r. 1922 v benzínech jako antidetonační přísada v koncentracích 0,1 %. Účinek olova spočívá v zabránění prudkému spalování paliva. Vysoká výbušnost paliva způsobuje nadměrné namáhání pohyblivých součástí zážehových motorů a jejich poškození. Aby se zabránilo kontaminaci životního prostředí toxickými sloučeninami olova, bylo navrženo náhradní aditivum. Přes intenzivní výzkum zůstává ale účinnost Et_4Pb nepřekonána a přestože bylo jeho použití ve vyspělých zemích, včetně České republiky zakázáno a produkce tetraalkylolova klesá, v rozvojových zemích se Et_4Pb stále ještě používá jako aditivum do paliv a spotřebovává 20 % světové produkce olova.

Širšímu využívání organokovových sloučenin olova brání jejich vysoká toxicita, která nebyla brána v potaz u aditiv do benzínů. Při porovnání toxicity organokovových sloučenin cínu, olova a rtuti jsou nejméně toxické sloučeniny cínu a to tak málo, že nejsou člověku nebezpečné. Toxicita organokovových sloučenin rtuti a olova je už ale nebezpečná i člověku. Toxicita organokovových sloučenin všech zmiňovaných kovů je pak nejvyšší u nejvíce alkylovaných iontů. U olova jsou tedy nejtoxičtější ionty $[\text{PbR}_2]^{2+}$ a $[\text{PbR}_3]^+$, které vznikají biomethylací „anorganického olova“ (Pb^{2+}) v živých organismech.

6.3.5 15. skupina (As, Sb, Bi)

15. skupina periodické tabulky prvků obsahuje arsen, antimon a bismut. Tyto prvky vystupují v organokovových sloučeninách v oxidačních číslech III a V, z nichž první jmenované je mnohem běžnější. Lze od nich proto odvodit poměrně velké množství sloučenin a navíc mohou mít organokovové sloučeniny těchto prvků, podobně jako mnoho jiných prvků, v molekule více různých druhů ligandů. Pokud jde o aplikace, je chemie organokovových sloučenin As, Sb, a Bi zastíněna sloučeninami 13. a 14. skupiny a jejich praktické využití je jen omezené.

Aditivum, které nahradilo Et_4Pb je organokovová sloučenina manganu –(methylcyklopentadienyl)-(trikarbonyl)mangan ($(\text{MeC}_5\text{H}_4)\text{Mn}(\text{CO})_3$). Dalšími aditivy benzínu jsou ethanol a ethery, která mají funkci okysličovadel, barviva a jiné látky.

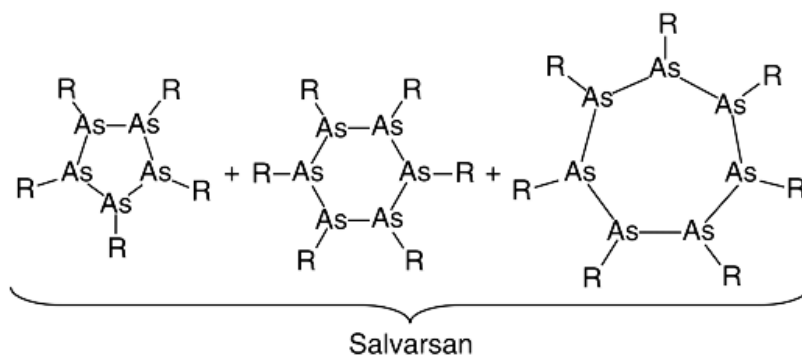
Ionty $[\text{PbR}_3]^+$ a $[\text{PbR}_2]^{2+}$ inhibují různé enzymy (např. enzymy se skupinami -SH) a zabraňují jejich biologické funkci. Ionty Pb^{2+} se akumulují v kostech (Astruc, p. 339).

Proto se další text zaměří pouze na významné sloučeniny arsenu. Rozšíření a rozvoji použití organokovových sloučenin těchto prvků vadí hlavně jejich toxicita.

Jednoduché **organokovové sloučeniny arsenu** jsou sloučeniny s obecnými vzorci R_3As^{III} nebo R_5As^V , ve kterých R označuje uhlovodíkový zbytek. Jednoduché organokovové sloučeniny arsenu s krátkým řetězcem R typu R_3As^{III} jako např. Me_3As , kde Me je methyl, jsou při laboratorní teplotě kapalné. Tyto sloučeniny jsou většinou samozápalné a toxické. Sloučeniny typu R_5As^V , jako Me_5As , a sloučeniny s fenylovými ligandy jako Ph_3As a Ph_5As jsou krystalické látky nerozpustné ve vodě (Červinka, p.409).

Příkladem složitější organokovové sloučeniny arsenu je zápachající jedovatá kapalina teramethyldiarsan se dvěma spojenými atomy arsenu ($Me_2As-AsMe_2$). Některé organokovové sloučeniny arsenu se v minulosti používaly jako léčiva proti onemocněním způsobeným bakteriemi, dokud je nenahradila účinnější antibiotika. Atoxyl je sůl od arsenu odvozené kyseliny se složením $p-H_2NC_6H_4As^VO(OH)ONa$, kterou objevil Thomas v r.1905, a je účinná proti spavé nemoci, protože je toxická pro jejího původce - trypanozomu spavičnou. Podobná sloučenina se složením $RAsO(OH)_2$, kde R je aryl, a její deriváty ještě slouží v omezeném měřítku jako herbicidy, fungicidy a baktericidy.

Schopnost prvků 15. skupiny tvořit vazby E-E vede k tvorbě velkého množství řetězců a kruhů (E je obecný zástupný symbol pro prvky 13. - 16. skupiny). To je známé od roku 1909, kdy byl objeven Salvarsan. Tento lék sestávající ze směsi molekul pěti, šesti a sedmičlenných kruhů, viz Obr. 6.11, je aktivní proti mikroorganismům způsobujícím *syfilis* a používal se až do objevení antibiotik (Astruc, p. 342).



Obr. 6.11: Salvarsan, převzato z (Astruc, p. 342)

Tetramethyldiarsan je hlavní komponenta dýmavé kapaliny, kakodylu, kterou kolem r. 1760 připravil Cadet. Kakodyl je směs látek, která obsahuje vůbec první uměle připravené organokovové sloučeniny.

Syfilis je infekční pohlavně přenosná choroba, kterou vyvolává bakterie spirochéta *Treponema pallidum*. Syfilis postihuje vnitřní orgány, kůži, kardiovaskulární systém, pohybovou a centrální nervovou soustavu nebo i plod těhotné ženy. Pro nemoc jsou typická tři stádia, přičemž v konečné fázi dochází k vážnému poškození organismu, demenci a v případě absence léčby i ke smrti nebo invaliditě (Pohlavní choroby.cz, 2015) (propeople.cz, 2015).

Jiným způsobem využití organokovových sloučenin arsenu jsou **bojové chemické látky**. Lewisit ($\text{Cl}_2\text{As}-\text{CH}=\text{CHCl}$) patří mezi *zpuchýřující bojové chemické látky* a může do organismu vniknout pokožkou, očima a dýchacími cestami (Čapoun, 2015). Průběh otravy lewisitem má podobné příznaky jako otrava arsenem včetně žaludeční nevolnosti a nízkého krevního tlaku. Příznaky se objevují téměř ihned po expozici. Příznaky zasažení lewisitem jsou zčervenání kůže během 15 až 30 minut a za několik hodin po zčervenání se objeví puchýř, dále podráždění a bolest očí (při velké expozici očí dochází k trvalé slepotě), kašel, chrapot a bolest při dýchání (Cvachová, 2006). Lewisit se vyráběl z ethynu a chloridu arsenitého a jedná se o kapalinu bez barvy a zápachu. Podobné organokovové sloučeniny arsenu, které sloužily stejně hrozným účelům, jsou Clark I (Ph_2AsCl) a Clark II (Ph_2AsCN).

Bojové chemické látky se dají použít jako náplň do dělostřeleckých granátů, raketových hlavic, leteckých pum a do leteckých rozstřikovačů.

6.3.6 16. skupina (Se, Te)

Organokovová chemie prvků 16. skupiny se omezuje na selen a tellur, protože kyslík a síra jsou typické nekovy a radioaktivní polonium by α -zářením svých jader rychle zničilo své organické ligandy. V organokovových sloučeninách prvků 16. skupiny je dominantní oxidační číslo II a méně významná pak oxidační čísla IV. a VI.

Jednodušší **organokovové sloučeniny selenu** s obecným složením R_2Se např. Me_2Se nebo Ph_2Se , kde *Me* označuje methyl a *Ph* označuje fenyl, slouží jako výchozí látky pro přípravu složitějších organokovových sloučenin selenu.

Složitější organokovové sloučeniny selenu pak mohou mít smíšenou koordinační sféru, tedy mohou obsahovat více druhů organických i anorganických ligandů jako např. *i*- PrSeBr , PhSeOH , kde *i*-*Pr* označuje izopropyl a *Ph* fenyl. Připravit organokovové sloučeniny selenu lze pomocí organolithných sloučenin, což popisují rovnice 22 a 23.



Přestože jsou sloučeniny selenu toxické, pro vyšší organismy je však selen esenciálním prvkem. Lidský organismus obsahuje 10-15 mg selenu (Elsenbroich a Salzer, p. 171). Organické sloučeniny selenu jsou součástí proteinů. Primárně jsou to *selenomethionin* a *selenocystein*.

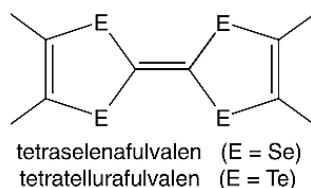
Denní příjem převyšující 1 μg Se/g potravy je toxický, ale zároveň menší příjem než 0,2 μg způsobuje příznaky nedostatku.

Selen má biologický význam v procesech buněčného dýchání jako katalyzátor redoxních reakcí thioalkoholů a disulfidů (Vašková, p. 6). Selen je také součástí glutathion peroxidázy, enzymu, který je zodpovědný za ochranu esenciálních SH skupin a za rozklad peroxidů, tudíž selen v organismu považujeme za antioxidant. Protože byl selen detekován v sítnici, je pravděpodobné, že proteiny se zabudovaným selenem hrají důležitou roli v procesu vidění (Elsenbroich a Salzer, p. 173). Dále mají selenoproteiny důležitou funkci v metabolismu hormonů štítné žlázy, což je orgán s nejvyšším obsahem selenu v těle. Nedostatek selenu v potravě vede ke špatné funkci jater, hemolytickým procesům (rozklad krve) a mužské neplodnosti. Organické sloučeniny selenu jsou méně toxické než anorganické sloučeniny selenu. Me_2Se je plyn, který je méně toxický než ionty SeO_3^{2-} , SeO_4^{2-} a elementární Se, což je opačný trend než v případě obdobných sloučenin rtuti. Vznik Me_2Se z anorganických sloučenin selenu očividně pomáhá při detoxifikaci, kdy se z organismu uvolňuje vydechováním.

Synteticky důležité reakce organokovových sloučenin selenu probíhají za mírných podmínek, což je podstatné při výrobě nebo zpracování přírodních látek, které se při vysokých teplotách rozkládají. V organické syntéze se organokovové sloučeniny selenu využívají k přípravě dvojných vazeb v uhlíkových řetězcích.

Příkladem **organokovových sloučenin telluru**, které se podobají organokovovým sloučeninám selenu, je Et_2Te , kde *Et* označuje ethyl. Organokovové sloučeniny telluru se používají pro úpravu fyzikálních vlastností materiálů, které se z nich vyrábějí. V elektronice se využívají tyto sloučeniny k přípravě tenkých vrstev *kadmium-telluridu* (CdTe) ve výrobě solárních článků a polovodivých prvků např. fotodiod (Chemicool, 2015).

Tenké vrstvy kadmium-telluridu pro výrobu elektronických součástek a polovodičů se připravují z organokovových sloučenin se vzorci $(\text{CH}_3)_2\text{Cd}$ a $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Te}$ metodou depozice par. Látky odvozené od fulvalenů, jejichž strukturu popisuje vzorec na Obr. 6.12, se při 1,5 K chovají jako supravodiče.



Obr. 6.12: Fulvaleny, převzato z (Astruc, p. 344)

Dimethylselenid Me_2Se , který se projevuje zápachem česneku po dechu, je příznakem otravy selenem.

Chemická depozice z par je proces využívaný pro přípravu tenkých vrstev. Substrát je vystaven účinkům těkavého prekursoru, který se na jeho povrchu rozkládá za vzniku požadovaného materiálu. Tato metoda je široce využívána v polovodičovém průmyslu.

Supravodivost je jev, kdy některé látky hlavně při nízkých teplotách kladou elektrickému proudu téměř nulový elektrický odpor.

6.4 ORGANOKOVOVÉ SLOUČENINY PŘECHODNÝCH KOVŮ

Klíčová slova:

osmnáctielektronové pravidlo, alkylové komplexy, arylové komplexy, β -eliminace, inserce, karbenové komplexy, karbynové komplexy, Fischerovy karbeny, Schrockovy karbeny, metateze, π -komplexy, zpětná π -donace, metalloceny, sandwichové sloučeniny, ferrocen

Přechodné kovy, o jejichž organokovových sloučeninách pojednává tato kapitola, jsou na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** podbarveny červeně. Jedná se o kovy 4.-10. skupiny periodické tabulky. Organokovové sloučeniny kovů 3. skupiny a lanthanoidů a aktinoidů mají výrazný iontový charakter a jsou tudíž zmíněné v kapitole 6.2. Organokovové sloučeniny kovů 11. a 12. skupiny mají kovalentní charakter a řadí se k organokovovým sloučeninám nepřechodných kovů, které jsou popsány v kapitole 6.3. Tyto kovy zůstávají na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** podbarveny tmavším odstínem šedé. Organokovové sloučeniny odvozené od kovů 4. – 10. skupiny periodické tabulky prvků se nerozdělují podle skupin periodické tabulky prvků jako je to obvyklé u dělení organokovových sloučenin nepřechodných prvků, ale rozdělují se podle typu ligandů, které se k atomu kovu vážou. V následujícím textu budou organokovové sloučeniny přechodných kovů rozděleny na:

- alkylové a arylové komplexy přechodných kovů
- karbenové a karbynové komplexy přechodných kovů
- π -komplexy přechodných kovů
- metalloceny a další sandwichové sloučeniny

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H vodík																	2 He helium
2	3 Li litium	4 Be beryllium											5 B bor	6 C uhlík	7 N dusík	8 O kyslík	9 F fluor	10 Ne neon
3	11 Na sodík	12 Mg hořčík											13 Al hliník	14 Si křemík	15 P fosfor	16 S síra	17 Cl chlor	18 Ar argon
4	19 K draslík	20 Ca vápník	21 Sc skandium	22 Ti titan	23 V vanad	24 Cr chrom	25 Mn mangan	26 Fe železo	27 Co kobalt	28 Ni nikl	29 Cu měď	30 Zn zinek	31 Ga galium	32 Ge germanium	33 As arsen	34 Se selen	35 Br brom	36 Kr krypton
5	37 Rb rubidium	38 Sr strontium	39 Y yttrium	40 Zr zirkonium	41 Nb niob	42 Mo molybden	43 Tc technecium	44 Ru ruthenium	45 Rh rhodium	46 Pd palladium	47 Ag stříbro	48 Cd cadmium	49 In indium	50 Sn olov	51 Sb antimon	52 Te tellur	53 I jod	54 Xe xenon
6	55 Cs cesium	56 Ba baryum	57 La lanthan	72 Hf hafnium	73 Ta tantal	74 W wolfram	75 Re rhenium	76 Os osmium	77 Ir iridium	78 Pt platina	79 Au zlato	80 Hg rtuť	81 Tl thallium	82 Pb olovo	83 Bi bismut	84 Po polonium	85 At astat	86 Rn radon
7	87 Fr francium	88 Ra radium	89 Ac aktinium	104 Rf rutherfordium	105 Db dubnium													
LANTHANOIDY			58 Ce cer	59 Pr praseodym	60 Nd neodym	61 Pm promethium	62 Sm samarium	63 Eu europium	64 Gd gadolinium	65 Tb terbium	66 Dy dysprosium	67 Ho holmium	68 Er erbit	69 Tm thulium	70 Yb ytterbium	71 Lu lutecium		
AKTINOIDY			90 Th thorium	91 Pa protaktinium	92 U uran	93 Np neptunium	94 Pu plutonium	95 Am amerikium	96 Cm curium	97 Bk berkelium	98 Cf kalifornium	99 Es einsteinium	100 Fm fermium	101 Md mendelevium	102 No nobelium	103 Lr lawrencium		

Obr. 6.13: Přechodné kovy organokovových sloučenin

Většina přechodných kovů má silnou tendenci při vzniku komplexu zaplnit své valenční orbitály elektrony, které přijmou od ligandů. Valenční sféra u přechodných kovů může být zaplněna až osmnácti elektrony, proto se pro tuto tendenci vžil název **osmnáctielektronové pravidlo**. Komplexy s kovy, které mají zaplněnou valenční sféru osmnácti elektrony, tedy komplexy, které splňují osmnáctielektronové pravidlo, bývají stabilní, zatímco výjimky, které toto pravidlo nesplňují, jsou často nestabilní a vysoce reaktivní. Některé sloučeniny nesplňují toto pravidlo např. proto, že jsou kolem atomu kovu tak objemné ligandy, že už se mezi ně nevejde další ligand, který by přinesl chybějící elektrony (Crabtree, p. 30). Přehled nejběžněji se vyskytujících ligandů a počet elektronů, které dodávají atomu kovu, uvádí Tabulka 6-2.

Celkový počet valenčních elektronů kovu v komplexu se určí jako součet valenčních elektronů kovu v neutrálním stavu s počtem elektronů, které kovu dodají ligandy. Ligandy mohou kovu dodávat nespárované elektrony, jako například radikál ($\cdot\text{CH}_3$), pak se takové ligandy označují jako ligandy typu *X*, nebo mohou dodávat elektronové páry, jako např. ethen ($\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$), a takové ligandy se označují jako ligandy typu *L*. Jsou i ligandy, které kovu dodávají jeden nebo více elektronových párů a nespárovaný elektron, jako např. radikál *allyl* s jedním elektronovým párem a jedním elektronem ($\cdot\text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2=\text{CH}_2$), jehož označení je pak ligand typu *LX*.

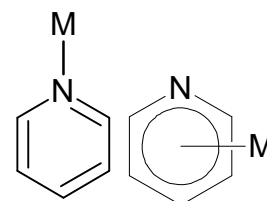
Jak bylo uvedeno v kap. 6.1.1, ligandy jsou atomy nebo skupiny atomů, které se vážou k centrálnímu atomu kovu. Jejich počet udává **koordinace číslo**. U složitějších ligandů, které poskytují do vazby s atomem kovu více elektronových párů, např. *cyklopentadienyl*, se počítá, že každý elektronový pár obsadí jedno koordinace místo. Kromě ligandů, které se k atomu kovu vážou prostřednictvím atomu uhlíku, mohou organokovové sloučeniny obsahovat i mnoho jiných druhů ligandů, např. halogenidové ligandy nebo ligandy připojené atomy dusíku, kyslíku, fosforu, viz Tabulka 6-2.

Oxidační číslo atomu kovu v organokovových sloučeninách můžeme určit pouze při znalosti formálního oxidačního čísla ligandů. Obecně platí, že se při určování oxidačního čísla atomů podílejících se na chemické vazbě vazebné elektrony přisoudí atomu s větší elektronegativitou.

O objemných ligandech, které zabírají hodně prostoru kolem centrálního atomu kovu, říkáme, že jsou **stericky náročné**.

Ligandy typu *L* dodávají do vazby s kovem oba vazebné elektrony a jedná se tedy o donor-akceptorovou vazbu.


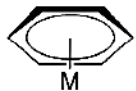
Mnoho ligandů se může k atomu kovu vázat více způsoby, např. jako pyridin. Dva rozdílné způsoby vázání *pyridinového* ligandu ($\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$) ke kovu jsou patrné z Obr. 6.14.



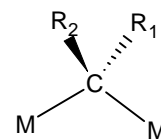
Obr. 6.14: Možnosti koordinace pyridinu

Při určování oxidačního čísla kovu v organokovových sloučeninách se tedy elektrony přisoudí ligandům. Pokud jde o ligandy typu L, nemá to na jejich formální oxidační stav vliv, protože tyto ligandy jsou dárci celého vazebného elektronového páru. Pokud jde o ligandy typu X, jejich oxidační číslo o jedničku klesne oproti neutrálnímu stavu, který se uvažuje při vzniku komplexu a při posuzování splnění osmnáctielektronového pravidla, protože se ligandu přisoudí i elektron, kterým do vazby přispěl atom kovu. Potom je tedy např. náboj methylového ligandu ($(-\text{CH}_3)^-$) -1. Proto jsou formální náboje ligandů typu X -1 a ligandů typu X_2 -2, atd. Tabulka 6-2 uvádí vedle typu ligandu a počtu kovu dodaných elektronů i formální oxidační čísla ligandů. Ve sloupci *typ ligandu* označuje L_n počet dodávaných elektronových párů a X_n označuje počet dodávaných nespárovaných elektronů. Atom kovu se v tabulce obecně označuje *M* a uhlovodíkové zbytky jsou v ní označeny *R*.


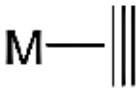

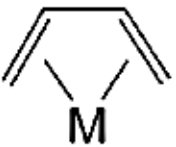

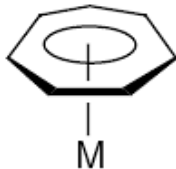
Tabulka 6-2: Nejběžnější ligandy, upraveno dle (Dvořák, 1993) a (Astruc, 2007)

Ligand	Formální náboj	Počet dodaných elektronů	Typ ligandu	Způsob vazby
alkyl (R)	-1	1	X	M-R
koncový aryl (Ar)	-1	1	X	
aryl (Ar) koordinovaný π systémem	0	6	L_3	
karben ($\text{R}_2\text{C:}$) (jako donor el. páru u Fisherových karbenů)	0	2	L	$\text{M}=\text{CR}_2$
karben ($\text{R}_2\text{C:}$) (jako donor 2 nespárovaných elektronů u Schrockových karbenů)	-2	2	X_2	$\text{M}=\text{CR}_2$

Dvojvazné uhlovodíkové ligandy ($=\text{C-R}$) se obecně označují jako **alkylideny**. Alkylideny se mohou vázat k jednomu atomu kovu nebo můstkovým způsobem, kdy každá vazba směřuje k jinému atomu kovu, viz Obr. 6.15.



Obr. 6.15: Alkylideny

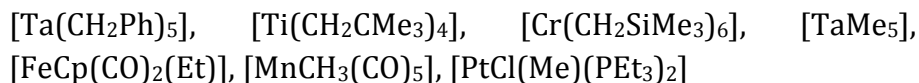
halogen (X)	-1	1	X	M-X
hydrid (H)	-1	1	X	M-H
R ₃ N, R ₃ P, R ₃ As	0	2	L	M-NR ₃ , M-PR ₃ , M-AsR ₃
R ₂ O, R ₂ S, R ₂ Se	0	2	L	M-OR ₂ , M-SR ₂ , M-SeR ₂
karbonyl (CO)	0	2	L	M-CO
alken (R ₂ C=CR ₂)	0	2	L	
alkyn (RC≡CR)	0	2	L	
allyl	-1	3	LX	
1,3 - dien	0	4	L ₂	
pentadienyl, cyklopentadienyl	-1	5	L ₂ X	
cykloheptatrienyl	-1	8	L ₃ X	

Vazba od atomu kovu nemusí vždy směřovat k jednomu určitému atomu, ale naopak může směřovat mezi více atomů ligandu. Pojem ***hapticita*** udává informaci o tom, ke kolika atomům ligandu směřuje vazba. Např. k ligandu cyklopentadienylu (Cp) často směřuje vazba od atomu kovu do jeho středu mezi všech pět atomů uhlíku. Takovou vazbu označujeme jako „pentahapto“ (značeno: η^5). Počet atomů, ke kterým směřuje vazba, se vyjadřuje latinskými předponami mono-, di-, tri-, atd.

6.4.1 Alkylové a arylové komplexy přechodných kovů

Alkyl a aryl komplexy přechodných kovů patří mezi nejdůležitější organokovové sloučeniny zejména pro své využití v organické syntéze. Tyto komplexy se až do poloviny 20. století nedařilo syntetizovat, protože jsou na rozdíl od alkylových a arylových derivátů nepřechodných kovů velmi nestabilní. Důvodem jejich nestability je to, že snadno podléhají rozkladným reakcím, jako je např. β -eliminace, viz dále.

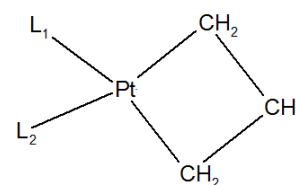
Následující vzorce jsou příklady stabilních organokovových látek přechodných kovů s alkylovými ligandy, ve kterých *Me* označuje methyl (CH_3), *Et* označuje ethyl (C_2H_5), *Ph* označuje fenyl (C_6H_5), který se neváže přímo k atomu kovu, ale je součástí složitějšího uhlovodíkového řetězce, a *Cp* označuje cyklopentadienyl (C_5H_5):



Alkyl komplexy přechodných kovů 4. skupiny, jako např. Zr a Ti, jsou často stabilní pouze při nízkých teplotách a jsou velmi citlivé na přítomnost vody a vzduchu, v jejichž přítomnosti se rozkládají. S postupem v periodické tabulce od 4. skupiny doprava a dolů ale jejich citlivost na přítomnost vody a vzduchu klesá (Crabtree, p. 54).

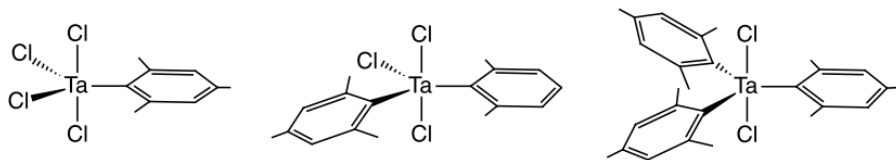
Arylové komplexy přechodných kovů mají v molekulách vázaný aryl, z nichž nejjednodušší je fenyl. V arylových komplexech se aryl váže ke kovu přímo jedním ze svých atomů uhlíku. (Aryly se mohou ke kovu vázat i prostřednictvím svých π -elektronů, kdy vazba směřuje od kovu do středu aromatického kruhu, viz kapitola 6.4.3 π – komplexy přechodných kovů.)

Sloučeniny, které se nazývají **metalacykly**, mají v molekulách dvojnásobný alkylový ligand, který uzavírá s atomem kovu cyklus, viz Obr. 6.16. Metalacykly jsou příkladem molekul, u kterých neprobíhá β -eliminace.



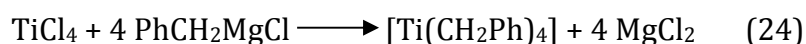
Obr. 6.16:
Metalacyklus

Následující vzorce na Obr. 6.17 jsou příklady aryl komplexů odvozených od tantalu. Vzorec vlevo patří tmavě červené na vzduchu samozápalné sloučenině. Uprostřed je oranžová sloučenina, která se na přístupu vzduchu rozkládá do 1 minuty a sloučenina vpravo je žlutá a na vzduchu stálá.



Obr. 6.17: Příklady arylových komplexů (Astruc, p. 183)

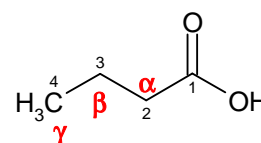
Pokud daná sloučenina nepodléhá rozkladu β -eliminací, připravují se alkylové nebo arylové sloučeniny nepřechodných kovů pomocí přenosu uhlíkaté části z organokovových sloučenin nepřechodných kovů, nejčastěji Grignardových činidel nebo organolithných sloučenin, na halogenidy přechodných kovů, což popisuje rovnice 24, popřípadě na komplexy přechodných kovů.



Nejběžnější reakcí rozkladu alkylových komplexů přechodných kovů je **β -eliminace**, která bývá často příčinou rozkladu těchto komplexů. Eliminace jsou reakce, při kterých dochází k odštěpení části molekuly. Při β -eliminaci dojde k odštěpení alkylového ligandu komplexu ve formě alkenů. Písmeno řecké abecedy značí, na kterém atomu v uhlíkovém řetězci dojde k eliminaci atomu vodíku, který se přesune na kov. Písmenem β se označuje druhý atom uhlíku v řetězci alkyl komplexu směrem od atomu kovu a na něm tedy dojde k odštěpení atomu vodíku.

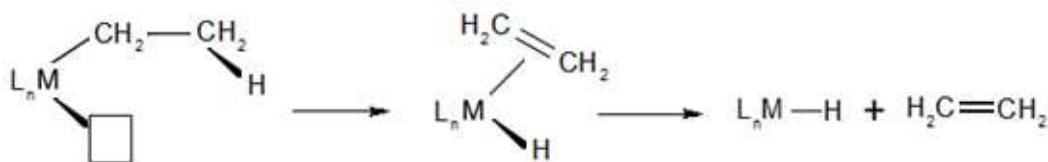
Reakce halogenidů přechodných kovů s organolithnými nebo Grignardovými činidly se často označuje jako **transmetalace**, protože při nich formálně dochází k výměně kovu.

Pro značení atomů uhlíku v řetězci derivátů uhlovodíků se také používají řecká písmena. Označení α mívá první atom uhlíku navázaný na funkční skupinu. β přísluší druhému atomu uhlíku atd.



Obr. 6.18: Značení atomů uhlíku v řetězci, převzato z (Vícha, 2015)

Schéma na Obr. 6.19 popisuje průběh β -eliminace. Ze složitějšího organokovového komplexu je pro přehlednost rozkreslen jen alkylový ligand a ostatní ligandy označuje obecně L_n . Volné koordinační místo na atomu kovu je označeno čtverečkem.



Obr. 6.19: Mechanismus β -eliminace (upraveno dle Crabtree, p. 56)

Odštěpený atom vodíku se přesune na kov a vznikne tak hydridový komplex přechodného kovu. Alkylový ligand po odštěpení atomu vodíku od komplexu kovu odstoupí a vznikne v něm dvojná vazba. Nová vazba M-H vzniká současně se zánikem vazby C-H. β -eliminace se vyskytuje kdykoliv, kdy β -uhlík alkylu nese vodíkový atom a na atomu kovu je volné koordinační místo pro další ligand, na které atom vodíku může přejít.

Nežádoucí β -eliminaci je možné blokovat a to tak, že se molekuly organokovových sloučenin připravují s ligandy, které nenesou β -vodík, nebo se tento atom vodíku nemůže přesunout k atomu kovu, protože se ze sterických důvodů nedostane do jeho dostatečné blízkosti. Další možností, jak zablokovat průběh β -eliminace je volit pro přípravu alkyl komplexů takovou kombinaci kovu a ligandů, aby atom kovu měl zaplněnou valenční sféru osmnácti elektrony a nemohl proto přijmout hydridový ligand (Crabtree, p. 55).

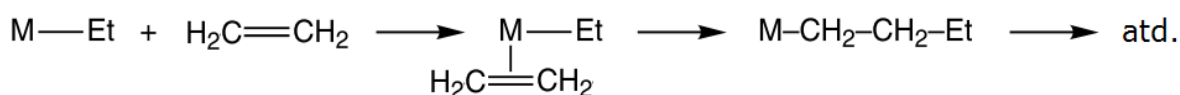
Méně často než β -eliminace probíhají α -eliminace a γ -eliminace, u kterých analogicky dojde k eliminaci vodíku na prvním nebo třetím místě v uhlovodíkovém řetězci.

Metalacykly jsou příkladem molekul, u kterých neprobíhá β -eliminace, protože se β -vodík nemůže přiblížit k atomu kovu, viz Obr. 6.16.

Alkylové a arylové komplexy přechodných kovů mají důležitou roli v chemické syntéze, kde bývají tyto látky často jako meziprodukty ve sledu postupných reakcí nebo v katalytických cyklech. Praktický význam alkylových a arylových komplexů přechodných kovů spočívá v jejich schopnosti inserce nenasycených uhlovodíků do vazby M-C, tzn. ve schopnosti začlenit molekuly nenasycených uhlovodíků do svého alkylového řetězce. Inserce se využívá při syntéze organických molekul a při polymerizacích. Při polymerizaci opakovaně proběhne inserce monomerních jednotek do vazby M-C, tedy mezi atom kovu a alkylový ligand, jehož délka tak narůstá. Po určitém počtu insercí se alkylový řetězec oddělí jako chtěný produkt.

Princip inserce nenasycených uhlovodíků do vazby M-C organokovových sloučenin popisuje následující schéma na Obr. 6.20.

Lze říci, že inserce široké škály nenasycených uhlovodíků do vazby M-C alkyl komplexů je opakem β -eliminace. To je patrné ze schématu mechanismu β -eliminace (Obr. 6.19), když si uvědomíme, že prvním krokem při růstu alkylového ligandu je inserce alkenů do vazby M-H hydridu přechodného kovu.



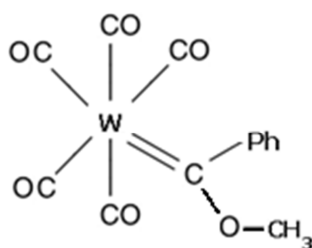
Obr. 6.20: Princip inserce, upraveno dle (Astruc, p. 142)

Složitý organokovový komplex je vyjádřen symbolem $\text{L}_n\text{M}-\text{Et}$ a jako monomerní jednotka vystupuje ethen. Ethen se nejprve koordinuje k atomu kovu svou nenasycenou vazbou a pak proběhne jeho inserce – vsunutí – mezi atom kovu a ethylový ligand. Na uvolněné koordinační místo na atomu kovu přistoupí další monomerní jednotka a následuje další inserce.

Když byly alkylové komplexy přechodných kovů, které nesou β -vodík, charakterizovány v úvodu této kapitoly jako nestabilní sloučeniny, zdá se být nelogické, že je tímto způsobem možné vyrábět uhlíkové řetězce. V praxi ale existuje rovnováha, ze které vyplývá, že se rozloží jen malé množství alkyl komplexů, když jsou žádané produkty vhodným způsobem odebírány (Crabtree, p. 64).

6.4.2 Karbenové a karbynové komplexy přechodných kovů

Karbenové komplexy přechodných kovů jsou charakteristické uskupením atomů s dvojnou vazbou mezi atomem kovu a atomem uhlíku a lze je zapsat obecným vzorcem $L_nM=CR_2$, kde M označuje přechodné kovy, L_n jsou souhrnně ostatní ligandy na atomu kovu a R jsou buď uhlovodíkové zbytky, popřípadě heteroatom, např. atom kyslíku nebo dusíku. Prvním připraveným zástupcem této třídy sloučenin byl karbenový komplex wolframu, viz Obr. 6.21, kde Ph označuje fenyl a celý složitý ligand $C(OCH_3)Ph$ je k atomu kovu vázán dvojnou vazbou.



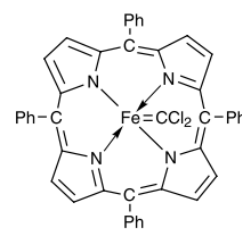
Obr. 6.21: Struktura prvního karbenového komplexu

Karbenové komplexy byly připraveny téměř se všemi přechodnými kovy. Tyto komplexy jsou důležité v organické syntéze, chemické katalýze, při dimerizaci, polymerizaci a oxidaci nenasycených uhlovodíků a účastní se dokonce i metabolických procesů, např. odbourávání chlorovaných uhlovodíků v játrech.

Karbenové komplexy lze rozdělit do dvou skupin na **Fischerovy karbeny** a **Schrockovy karbeny**, které se liší svými vlastnostmi a jsou pojmenované podle objevitelů prvních zástupců každé skupiny.

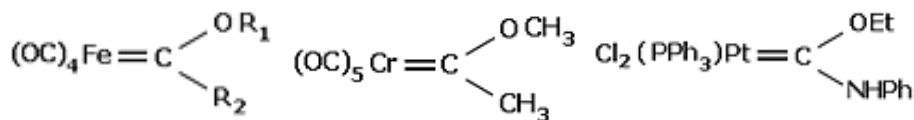
Fischerovy karbeny jsou stabilní a poměrně snadno dostupné sloučeniny. Ve Fischerových karbenech mají kovy nízká oxidační čísla a typicky obsahují atomy Cr^0 , Mo^0 , W^0 nebo Fe^0 . Doplnující ligandy, kromě karbenového, jsou pak nejčastěji ligandy karbonylové (CO) (Crabtree, p. 310). Fischerovy karbeny bývají často stabilizovány přítomností heteroatomu na karbenovém atomu uhlíku, jak je patrné z následujících vzorců, kde Et označuje ethyl, Ph označuje fenyl a R obecný uhlovodíkový zbytek.

Mansuy objevil, že při metabolismu chlorovaných uhlovodíků cytochromem P450 v jaterních buňkách vzniká karben jehož strukturu vyjadřuje vzorec Obr. 6.22.



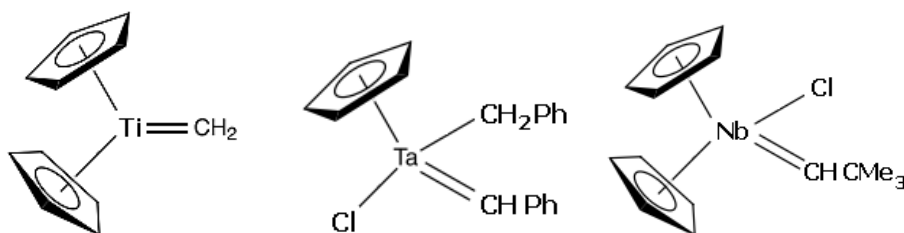
Obr. 6.22: Karbenový metabolit, převzato z (Astruc, p. 205)

Heteroatomem bývá nejčastěji kyslík, méně často dusík nebo síra, viz Obr. 6.23. Molekuly Fischerových karbenů se chovají jako elektrofil, tzn., že díky svému částečnému kladnému náboji na atomu uhlíku atakují při reakcích elektronově bohaté molekuly.



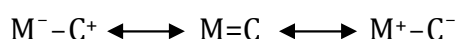
Obr. 6.23: Příklady Fischerových karbenů

Schrockovy karbeny mají v molekule atomy kovů ve vyšších oxidačních číslech, typicky Ti^{IV} , Ta^{V} , Nb^{V} , W^{VI} . Doprovodnými ligandy v těchto komplexech jsou pak cyklopentadienyl (Cp), chloridové ligandy (Cl) a alkyly. Schrockovy karbeny nebývají stabilizované heteroatomem, jak je patrné z příkladů na Obr. 6.24 a jsou nukleofilní díky částečnému zápornému náboji na karbenovém ligandu. To znamená, že díky tomuto zápornému náboji na atomu uhlíku atakují při reakcích jiné molekuly v místech s nižší elektronovou hustotou, tedy v místech s částečným kladným nábojem, (Astruc, p. 223).



Obr. 6.24: Příklady Schrockových karbenů, převzato z (Astruc, p. 223)

Důvodem rozdílné elektrofilní nebo nukleofilní povahy obou skupin karbenových komplexů je to, že vazba uhlík-kov může být polarizována jedním nebo druhým směrem tak, jak zobrazují následující rezonanční struktury



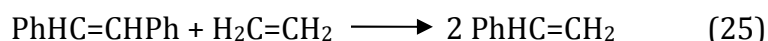
U Fischerových karbenů se díky povaze ostatních ligandů na atomu kovu a substituentech karbenového uhlíku skutečnost blíží více stavu s částečným kladným nábojem na karbenovém uhlíku. U Schrockových karbenů zase ovlivňují ostatní ligandy rozložení elektronové hustoty po molekule karben komplexu tak, že se blíží více stavu se záporným nábojem na karbenovém uhlíku.

Experimentálně stanovená délka vazby mezi kovem a karbenovým atomem uhlíku u Schrockových karbenů má délku typické dvojnásobné vazby, zatímco u Fischerových karbenů je tato vazba o něco delší, ale nedosahuje délky vazby jednoduché.

V případě Fischerových karbenů je karbenový ligand donorem elektronového páru. V případě Schrockových karbenů je karbenový ligand donorem dvou nespárovaných elektronů.

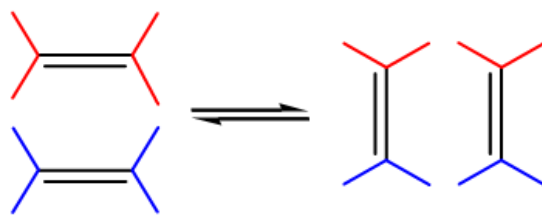
Vazby M=C jsou ve většině zatím popsaných karbenů reaktivním místem, na kterém dochází k chemickým reakcím. Všechny karbenové komplexy reagují s nenasycenými uhlovodíky, což je důležitá vlastnost, kvůli které se používají v katalýze a organické syntéze. První reakce s karbenovými komplexy přechodných kovů provedl Pettit v roce 1966.

Metateze alkenů je nejdůležitější reakce, ve které se karbenové komplexy v laboratorní i průmyslové syntéze uplatňují. Při metatezi, jíž se účastní dvě různé molekuly alkenů, dochází k záměně částí jejich molekul, které jsou spojené dvojnou vazbou. Příkladem je reakce, při které se 1,2-difenylethen převádí v nadbytku ethenu na styren (PhCH=CH₂), viz rovnice 25.



Díky karbenovým komplexům přechodných kovů, které metatezi katalyzují, je možný přenos částí =CR¹R², kde R¹ a R² jsou různé uhlovodíkové zbytky, mezi oběma alkeny. Pokaždé, když se totiž setká karbenový komplex (L_nM=CR¹R²) s alkenem může dojít k přerušení dvojných vazeb a výměně =CR¹R² skupin. Karbenový komplex pak zprostředkuje přenos této skupiny na další molekulu alkenu.

Princip metateze je dobře patrný ze schématu na Obr. 6.25. Při metatezi katalyzátor přeneseme červený fragment alkenu, na místo modrého v další molekule a naopak. Směs produktů pak obsahuje látky, jejichž molekuly jsou všemi kombinacemi různých skupin =CR¹R² přítomných v původních alkenech.



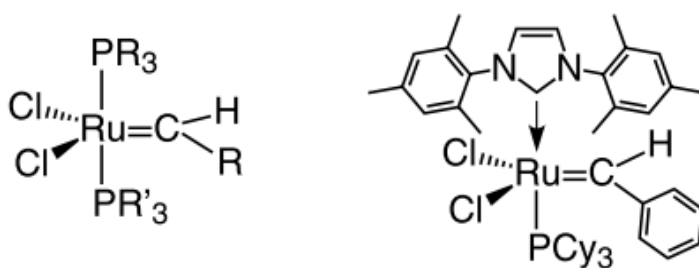
Obr. 6.25: Princip metateze (Wikipedia, 2014)

Řecké slovo *metathesis* znamená záměna nebo prohození.

Triviální název 1,2-difenylethenu je *stilben*.

Účinnými a prakticky využívanými katalyzátory metateze jsou karbenové komplexy ruthenia se strukturou $[\text{RuCl}_2(=\text{CHR}')(\text{PR}_3)_2]$ s různými uhlovodíkovými zbytky R a R', jejichž syntézu popsal Grubbs v roce 1995. Jejich dalšími obměnami vznikly velmi efektivní a stabilní, chirální i achirální katalyzátory, které se používají při mnoha různých aplikacích. Příklady **Grubbsových katalyzátorů** popisují strukturní vzorce na Obr. 6.26. Objemný ligand v molekule napravo se označuje zkratkou *NHC*, což znamená N-heterocyklický karben.

Chirální katalyzátory se používají při výrobě sloučenin, u kterých je upřednostňovaný jen jeden z optických izomerů.



Obr. 6.26: Vybrané Grubbsovy katalyzátory, (Astruc, p. 206)

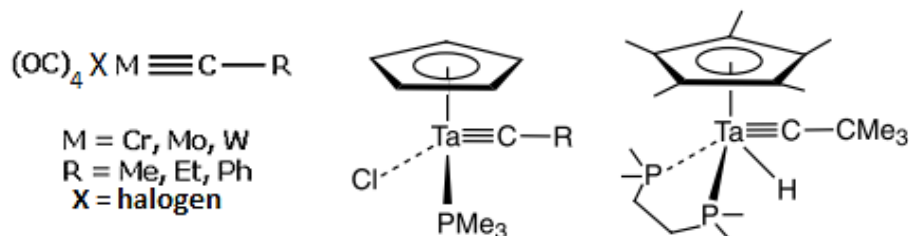
Moderní katalyzátory a metateze se používají pro syntézu monomerů i polymerizace, syntézu přesně definovaných organických sloučenin jako jsou léčiva, makrocyclické sloučeniny, vysokopevnostní materiály, využívají se při produkci propylenu, pro přípravu nanočástic cílených proti rakovinnému bujení a v jiných aplikacích.

Karbynové komplexy jsou obdobou karbenových komplexů s tím rozdílem, že mají v molekulách místo dvojné vazby vazbu trojnou $\text{M}\equiv\text{C}$. Fischerovým karbenům analogicky odpovídají Fischerovy karbyny, což jsou elektrofilní karbyny, stejně jako Schrockovým karbenům odpovídají Schrockovy karbyny, což jsou nukleofilní molekuly s přechodným kovem ve vysokém oxidačním stavu.

Vzorce na Obr. 6.27 popisují strukturu několika typických příkladů karbynových komplexů. Vlevo je obecný vzorec zástupců skupiny Fischerových karbynů, kde jsou na místě kovu (*M*) atomy chromu, molybdenu nebo wolframu v nízkých oxidačních stavech. *R* pak označuje obecně uhlovodíkový zbytek – v těchto případech jde o methyl (*Me*), ethyl (*Et*) a fenyl (*Ph*).

V případě Fischerových karbynů je karbynový ligand donorem jednoho elektronového páru a jednoho volného elektronu. V případě Schrockových karbynů je karbynový ligand donorem tří nespárovaných elektronů.

Uprostřed a vpravo jsou pak zástupci skupiny Schrockových karbynů, které jsou odvozené typicky od tantalu popřípadě od wolframu ve vyšších oxidačních stavech. Jejich uhlovodíkové zbytky *R* jsou obdobné jako na příkladu vlevo.



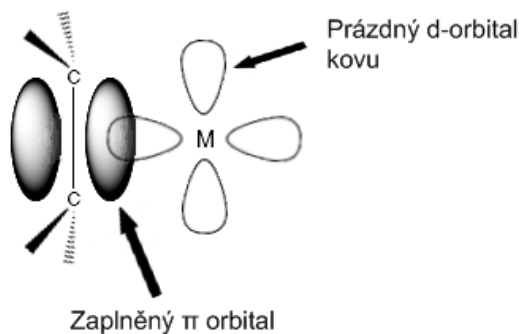
Obr. 6.27: Příklady karbynů (Fischerovy karbyny - vlevo, Schrockovy karbyny - uprostřed a vpravo) (Astruc, p. 216)

Při přípravě karbynových komplexů se vychází z karbenových komplexů odpovídající skupiny. Karbyny mají velký význam pro metatezi alkynů. Metateze alkynů je analogií k metatezi alkenů. Při metatezi alkynů dojde k přerušení jejich trojných vazeb a katalyzátor zprostředkuje záměnu fragmentů molekul spojených těmito trojnými vazbami.

6.4.3 π – komplexy přechodných kovů

π -komplexy přechodných kovů v molekulách obsahují jeden nebo více ligandů, které se k centrálnímu atomu kovu vážou prostřednictvím dvojně nebo trojně vazby, kterou obsahují. Název π -komplexů je odvozen od toho, že π -ligandy zapojují do vazby s kovem své **π -orbitaly**, přestože vazba mezi kovem a ligandem je typu σ (sigma).

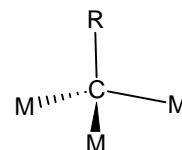
Vazba mezi atomem kovu a π -ligandem vzniká překryvem volných d-orbitalů atomu kovu se zaplněnými π -orbitaly ligandu tak, jak znázorňuje Obr. 6.28.



Obr. 6.28: Koordinace π -ligandu (upraveno dle Crabtree, p. 126)

Obecné označení trojvazných uhlovodíkových zbytků je **alkylidy**.

Tyto zbytky se mohou vázat trojnou vazbou ($\equiv C-R$) k jednomu atomu kovu nebo můstkovým způsobem ke třem různým atomům kovu, viz Obr. 6.29.



Obr. 6.29: Alkylidy

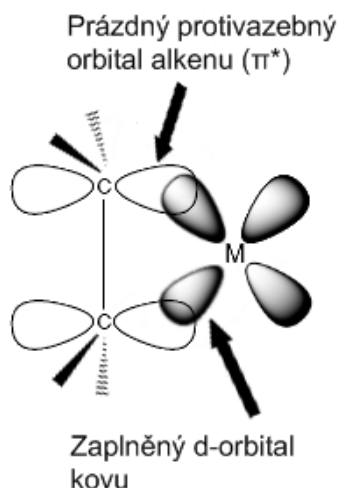
Obr. 6.28 je vidět, že čtyři substituenty π -ligandu se mírně odklání směrem od atomu kovu.

Důvodem je tendence π -orbitalů ligandu zaujmout co možná nejefektivnější překryv s d-orbitaly kovu.

Vazba tedy zdánlivě směřuje od atomu kovu přímo mezi dva atomy uhlíku ligandu. Jedná se o vazbu typu σ , protože elektronová hustota se v této vazbě nachází na spojnici atomu kovu a π -ligandu.

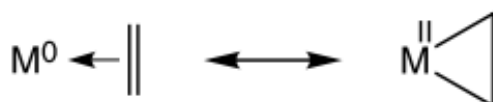
Významná vazebná interakce, která často doprovází σ -vazbu v π -komplexech přechodných kovů je **zpětná π -donace**. Zpětná π -donace významně posiluje vazbu π -ligandů v π -komplexech a zvyšuje tak jejich stabilitu. Obecně při vzniku chemické vazby překryvem dvou orbitalů vzniknou dva nové orbitály *vazebný* a *protivazebný*. **Vazebné** orbitály π -vazby C-C v π -ligandu jsou na Obr. 6.28 vyplněné šedou barvou, jsou obsazené elektrony a podílejí se na σ vazbě ligandu ke kovu. Protivazebné orbitály π -vazby C-C, které se označují π^* , jsou znázorněny na Obr. 6.30 jako nevyplněné, protože u volného uhlovodíku nejsou obsazeny elektrony, a z obrázku je patrná i jejich symetrie, která se zřetelně odlišuje od vazebných π -orbitalů. Při zpětné π -donaci v komplexech přechodných kovů přechází část elektronové hustoty z obsazených d-orbitalů kovu do těchto **protivazebných orbitalů**, což je na Obr. 6.30 znázorněno jejich překryvem s d-orbitaly atomu kovu. Obsazené d-orbitály kovu jsou znázorněny šedou barvou.

Ionty kovů jako Sc^{3+} , Ti^{4+} a V^{5+} nemají dostatek elektronů pro vznik zpětné π -donace. Z toho důvodu netvoří stabilní π -komplexy.



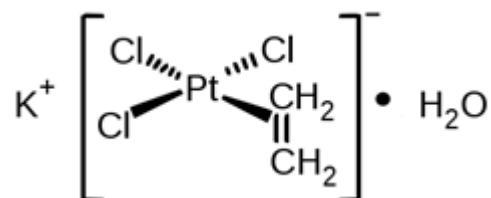
Obr. 6.30: Zpětná π -donace (upraveno dle Crabtree, p. 125)

Vazba C=C π -ligandu se částečným přesunem π elektronů na kov a vlivem zpětné π -donace oslabí a protáhne. V některých sloučeninách jsou oslabení C=C vazby a vliv zpětné π -donace tak markantní, že se jejich struktura více blíží cyklu – metalacyklopropanu. Obr. 6.31 zobrazuje dva hraničními stavy: vlevo je koordinovaný π -ligand pouze σ vazbou bez příspěvku zpětné π -donace, vpravo je koordinace s vysokým podílem zpětné π -donace, která se projeví zvýšením oxidačního čísla kovu a prodloužením vazby uhlík-uhlík v π -ligandu. Skutečná situace běžně leží mezi těmito hraničními stavy.



Obr. 6.31: Hraniční stavy vazby bočně koordinovaného ligandu, převzato z (Astruc, p. 226)

Nejjednodušší π -komplexy jsou komplexy obsahující jako π -ligandy alkeny, tzv. **alkenové komplexy**. Příkladem alkenového komplexu je sloučenina se sumárním vzorcem $K[PtCl_3(C_2H_4)] \cdot H_2O$ zvaná také Zeiseho sůl podle svého dánského objevitele, jejíž struktura je znázorněna na Obr. 6.32. Zeiseho sůl obsahuje koordinovaný ethen, přičemž vazba směřuje od atomu kovu přímo mezi oba atomy uhlíku ethenového ligandu. U Zeiseho soli je prodloužení dvojné vazby C=C v π -ligandu jen malé.



Obr. 6.32: Zeiseho sůl a bočně vázaný π -ligand (Astruc, p. 225)

Komplexy molekul s π -ligandy vznikají nejčastěji adicí nebo substitucí. Příkladem substituce je syntéza Zeiseho soli popsaná rovnicí 26.

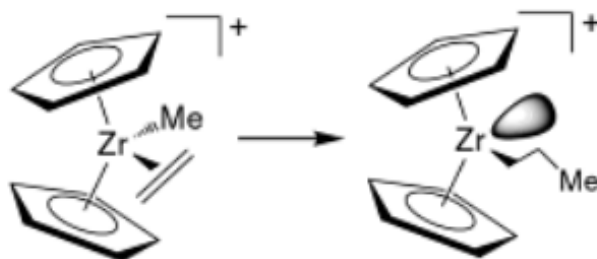


kdy je chloridový ligand v komplexní sloučenině nahrazen ethenem. Stablní π -komplexy tvoří zejména elektronově bohaté přechodné kovy z pravé části bloku přechodných kovů v nízkých oxidačních číslech, jako jsou Ni^0 , Pd^0 nebo Pt^0 .

Prodloužení vazby C=C v π -ligandu ovlivňuje zpětná π donace, protože se při této vazebné interakci přesunují elektrony z atomu kovu do protivazebných π^* orbitalů, což (jak napovídá název orbitalů) vazbu C=C oslabuje. Čím je podíl zpětné π donace na vazbě ke kovu větší, tím je větší oslabení a tedy prodloužení vazby C=C.

Největší význam mezi reakcemi π -komplexů mají intramolekulární inserce π -ligandu do vedlejší vazby M-C nebo M-H za vzniku alkylových komplexů, tak jak popisuje schéma na Obr. 6.33. Původní koordinační místo π -ligandu zůstává po inserci volné, což je ve schématu znázorněno jako elektronový orbital, dokud se na něj nekoordinuje nově příchozí π -ligand.

Tento děj často probíhá už při pokojové teplotě a má význam při polymerizacích, které probíhají v průmyslovém měřítku.

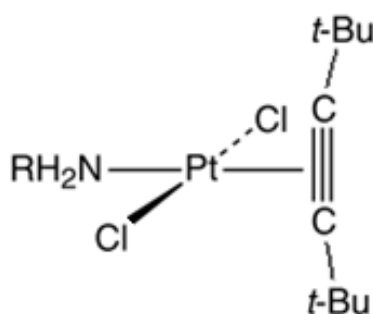


Obr. 6.33: Inserce π -ligandu do vazby Ze-Me (Astruc, p. 370)

Dále mají v chemické praxi význam reakce se snadnou výměnou π -ligandu za jiný ligand. π -komplexy přechodných kovů hrají důležitou roli v reakcích katalyzovaných komplexy přechodných kovů, jako jsou hydrogenace, oligomerizace, polymerizace, cyklizace, hydroformylace, izomerizace a oxidace (Elsenbroich a Salzer, p. 252).

Dalším typem π -komplexů přechodných kovů jsou **alkynové komplexy**, které mají v molekulách alkynový ligand vázaný k atomu kovu jednou ze svých dvou π vazeb. Vazba vzniká překryvem d-orbitalu atomu kovu s elektronovým π -orbitalem násobné vazby alkynu stejně jako v alkenových komplexech. Následující vzorec popisuje strukturu příkladu alkyn komplexu, ve kterém *t-Bu* označuje terciární butyl.

Substituenty alkynového ligandu se také mírně odklánějí do prostoru od atomu kovu stejně jako alkenové ligandy u alkenových komplexů, z důvodu dosažení lepšího překryvu π vazebných orbitalů s orbitaly kovu.



Obr. 6.34: Příklad struktury alkynového komplexu (Astruc, p. 323)

Alkynové komplexy se chovají velmi podobně jako alkenové komplexy. Komplexů s alkyny je mnoho a nacházejí uplatnění při zavádění funkčních skupin do molekul uhlovodíků, štěpení a tvorbě nových vazeb C-H a C-C, dimerizaci, oligomerizaci a polymerizaci alkynů.

Ke složitějším π -komplexům řadíme komplexy, ve kterých jsou k centrálnímu atomu kovu vázány jako ligandy uhlovodíky a uhlovodíkové zbytky s větším počtem atomů uhlíku a větším počtem násobných vazeb než mají ethen a ethyn. Tyto ligandy mohou být acyklické i cyklické.

V následujících příkladech komplexů na Obr. 6.35 jako ligandy vystupují zleva allyl, což je uhlovodíkový zbytek odvozený od propenu ($\text{CH}_3\text{-CH=CH}_2$), uprostřed je komplex s pentadienlem, který je odvozený od penta 1,4-dienu ($\text{CH}_2\text{=CH-CH}_2\text{-CH=CH}_2$) a vpravo kationtový komplex s cyklooktatrienylem odvozený od cyklooktatrienu (C_8H_{10}).



Obr. 6.35: π -komplexy se složitějšími ligandy, (Astruc, p. 235, 238)

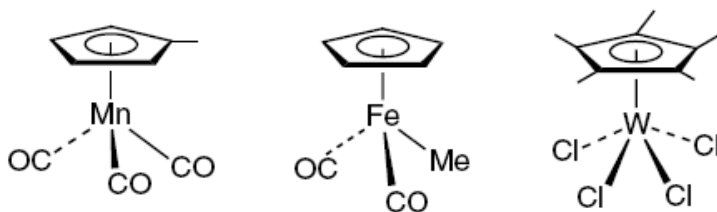
Allylový ligand je ligand typu LX, což znamená, že do σ vazby s atomem kovu formálně poskytuje jeden nespárovaný elektron a jeden elektronový pár své dvojné vazby (viz Tabulka 6-2 na str. 100). **Pentadienylový ligand** je ligand typu L_2X , tzn., že poskytuje do vazby dva elektronové páry dvou dvojných vazeb a jeden nespárovaný elektron a je tedy typu L_2X . **Cyklooktatrienylový ligand** je cyklický ligand typu L_3X , který do vazby s kovem poskytuje tři elektronové páry a jeden nespárovaný elektron.

U konjugovaných systémů násobných vazeb dochází k rovnoměrnému rozdělení elektronové hustoty podél uhlovodíkového řetězce a vyrovnání délky jednoduchých a dvojných vazeb

V těchto ligandech dochází k delokalizaci π elektronů podél uhlovodíkového řetězce. σ vazba v komplexech s přechodnými kovy je pak zprostředkována těmito delokalizovanými elektrony. Tato skutečnost se znázorňuje ve vzorcích tak, že vazba od atomu kovu nesměřuje k žádnému z atomů ligandu, ale směřuje právě k delokalizovanému oblaku elektronů, který je schematicky znázorněn jako křivka podél uhlíkového řetězce.

Mezi organokovovými sloučeninami jsou velmi významné komplexy s **cyklopentadienylovým ligandem**, který je odvozený od cyklopentadienu, což je pětičetný uhlovodíkový cyklus se dvěma dvojnými vazbami. Cyklopentadienyl je ligand typu L_2X protože poskytuje do vazby s kovem jeden nespárovaný elektron a dva elektronové páry svých dvou dvojných vazeb a používá se pro něj běžně zkratka *Cp*.

Komplexy s jedním cyklopentadienylovým ligandem se někdy označují jako „pianové židličky“ („piano stool“), protože cyklopentadienylový kruh připomíná sedátko a ostatní ligandy nohy židle. Na Obr. 6.36 jsou příklady komplexů s cyklopentadienylovým ligandem (uprostřed) nebo s od něj odvozenými (substituovanými) ligandy na, kterých je vidět, že vazba od atomu kovu směřuje k delokalizovaným elektronům ve středu cyklu. Delokalizace π elektronů se ve vzorcích s cyklopentadienylovým ligandem schematicky znázorňuje jako kroužek uvnitř uhlíkového cyklu.

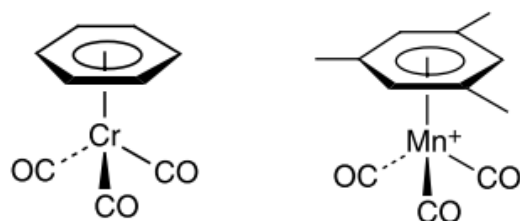


Obr. 6.36: Komplexy s cyklopentadienylem, (upraveno dle Astruc, p. 239, 240)

Komplex na Obr. 6.36 vlevo má cyklopentadienylový ligand substituovaný jednou methylovou skupinou. Další důležitý ligand, který lze od cyklopentadienylového ligandu odvodit je **pentamethylcyklopentadienylový ligand**, který má methylové skupiny na všech uhlíkových atomech cyklu a který se označuje *Cp**. Příklad komplexu s *Cp** ligandem je na Obr. 6.36 uveden zcela vpravo. Komplexy s atomem kovu mezi dvěma cyklopentadienylovými cykly budou podrobněji zmíněny v následující kapitole.

Odolnost a stabilita komplexů s pentamethylcyklopentadienylem (*Cp**) je vyšší než odolnost komplexů s *Cp*, protože *Cp** je objemnější než *Cp* a lépe chrání centrální atom.

Dalšími významnými ligandy v π -komplexech přechodných kovů jsou **areny**, z nichž nejjednodušší je benzen. Benzen je šestičlenný aromatický uhlíkový cyklus a jako π -ligand typu L_3 se nejčastěji koordinuje ke kovům svými třemi delokalizovanými elektronovými páry, přičemž vazba směřuje od atomu kovu do středu aromatického cyklu. Nejznámější z arenových komplexů a nejpoužívanější ve svých aplikacích jsou arentrikarbonylové komplexy skupiny chromu a manganu, jejichž příklady jsou na Obr. 6.38. Jejich syntéza probíhá zahřátím arenu s karbonyly příslušných kovů, např. s $[\text{Cr}(\text{CO})_6]$, jako rozpouštědlo při jejich přípravě slouží dibutylether.



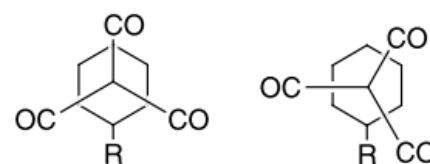
Obr. 6.38: Arenové komplexy (Astruc, p. 243)

Arenové komplexy jsou obecně reaktivnější než komplexy s cyklopentadienylovým ligandem. Na arenových ligandech často probíhají chemické reakce, zatímco rolí cyklopentadienylových ligandů je častěji jen doplnění koordinační sféry atomu kovu a stabilizace komplexu, přičemž reakce komplexů s Cp ligandy probíhají převážně na ostatních ligandech. Nukleofilní reakce na benzenovém kruhu v arenových komplexech kvůli přesunu elektronové hustoty z arenu na kov probíhají snadněji než s volnými areny. Elektrofílní reakce jsou naopak obtížnější.

Areny také odstupují od kovu snadněji než cyklopentadienyl. Po zavedení funkční skupiny na benzenový kruh může být areny snadno oddělen od kovu ozářením slunečním světlem a izolován ze směsi.

Cyklopentadienylový ligand a od něj odvozené ligandy patří společně s allylovým ligandem mezi nejdůležitější ligandy pro komplexy používané v organické chemii. Cyklopentadienylový ligand je ze všech ligandů s více násobnými vazbami nejpevněji vázaný ke kovu a proto je nejvíce odolný nukleofilním i elektrofílním činidlům (Crabtree, p. 140). Pro svou odolnost se s tímto ligandem připravuje mnoho organokovových sloučenin používaných v chemické syntéze, při jejichž využití pak syntetické reakce proběhnou na ostatních ligandech než je Cp ligand.

Konformace substituovaných aren komplexů může být buď zákrytová (Obr. 6.37 vlevo) nebo střídavá (Obr. 6.37 vpravo).

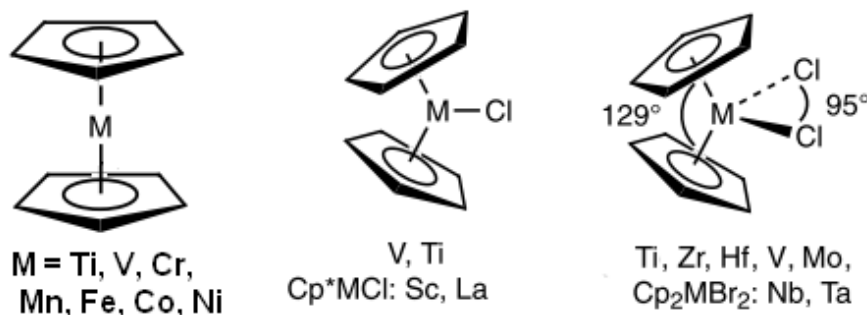


Obr. 6.37: Konformace arenkomplexů, převzato z (Astruc, p. 244)

6.4.4 Metaloceny a sandwichové sloučeniny

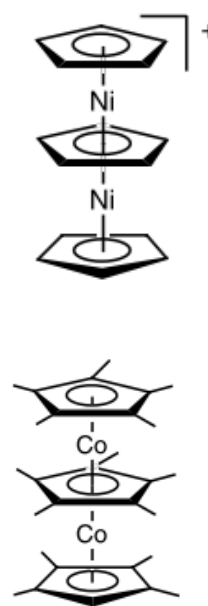
Metaloceny nesou v molekulách dva cyklopentadienylové ligandy. Obecné složení metalocenů tudíž vyjadřuje vzorec (MCp_2), ve kterém M je obecný symbol pro kov a Cp označuje cyklopentadienylové ligandy. Metaloceny mohou obsahovat i pentamethylcyklopentadienylové ligandy (Cp^*), viz Tabulka 6-2, které se od cyklopentadienyly liší v tom, že mají v každém vrcholu uhlíkatého cyklu navázaný methyl a obsahují tedy celkově deset methylových substituentů.

Metaloceny (MCp_2) a dekamethylmetaloceny (MCp_2^*) jsou známé pro všechny přechodné kovy a mnoho nepřechodných kovů a kovů vzácných zemin. Metaloceny kovů 4. skupiny (Ti, Zr, Hf) a těžších prvků 5.-7. skupiny (Nb, Ta, Mo, W, Re, Tc) mají lomenou molekulu, protože kromě dvou cyklických ligandů obsahují další ligandy. V těchto komplexech může kov vázat až tři další ligandy v ekvatoriální rovině, jak je znázorněno na následujících příkladech na Obr. 6.39 uprostřed a vpravo. Na Obr. 6.39 vlevo je uveden obecný vzorec metalocenů s atomem kovu mezi dvěma **rovnoběžnými** cyklickými ligandy, které se proto označují často jako **sandwichové sloučeniny**. Sandwichové metaloceny obsahují hlavně kovy první řady přechodných kovů (V, Cr, Mn, Fe, Co a Ni) a kovy skupiny železa (Fe, Ru, Os). Větší uplatnění mají jednovrstvé sandwichové sloučeniny, ale byly připraveny i vícevrstvé komplexy.



Obr. 6.39: Některé metaloceny a sandwichové sloučeniny (Astruc, p. 268)

V r. 1972 byl objeven první třívrstvý sandwichový komplex odvozený od niklu. Po tomto komplexu bylo objeveno mnoho dalších vícevrstvých komplexů, viz Obr. 6.40.



Obr. 6.40: Vícevrstvé sandwichové komplexy, převzato z (Astruc, p. 266)

Sandwichová struktura $[\text{MCp}_2]$ je obecně robustní a stálá pokud je počet valenčních elektronů kovu rovný osmnácti, jako je tomu u metalocenů Fe, Ru, Os, tedy pokud komplex splňuje osmnáctielektronové pravidlo. Čím vzdálenější je počet valenčních elektronů od osmnácti (valenčních elektronů může být 14-20 podle toho o jaký kov se jedná, protože každý Cp dodává 5 elektronů), tím nestálější a reaktivnější je molekula metalocenu, (Astruc, p. 255). Proto jsou *kobaltocen* (CoCp_2) s devatenácti a *nikellocen* (NiCp_2) s dvaceti valenčními elektrony mnohem reaktivnější než *ferrocen* (FeCp_2) s osmnácti elektrony. *Vanadocen* (VCp_2), *chromocen* (CrCp_2) a *manganocen* (MnCp_2) mají patnáct, šestnáct a sedmáct elektronů, tedy méně než osmnáct elektronů, a jejich reaktivita je také velmi vysoká.

Klíčovou vlastností metalocenů je jejich schopnost existovat v rozličných oxidačních stavech. Při přechodu jejich oxidačních stavů se mění celkový počet valenčních elektronů kovu komplexu od 14 až do 20. Například u ferrocenu běžně existují oxidační stavy uvedené na schématu Obr. 6.41, kde jsou pod vzorci komplexů uvedeny počty valenčních elektronů.

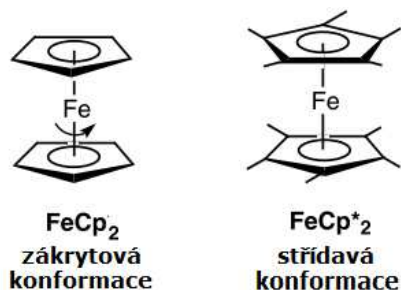


Obr. 6.41: Oxidační stavy ferrocenu

Nejdůležitějším zástupcem metalocenů je mimořádně stálý **ferrocen** $[\text{Cp}_2\text{Fe}]$ s atomem železa v oxidačním čísle +II a dvěma Cp cykly, které vystupují ve formálním oxidačním čísle -I, viz Obr. 6.42 vlevo. Ferrocen může existovat ve dvou konformacích - zákrytové a střídavé. Důvodem existence dvou konformací je to, že vazby od atomu kovu směřují do středu cyklopentadienylových cyklů a proto může dojít k pootočení těchto cyklických ligandů kolem svislé osy, což je na Obr. 6.42 naznačeno šipkou. V plynné fázi je konformace ferrocenu zákrytová, stejně jako u ruthenocenu a osmocenu. V pevné fázi existuje ferrocen ve střídavé konformaci.

Z historického hlediska byl objev struktury ferrocenu Wilkinsonem, Woodwardem a Fischerem v roce 1952 přelomovým okamžikem a vedl k oživení koordinační a rozvoji organokovové chemie.

Energetická bariéra rotace kolem svislé osy je velmi malá (8-21 kJ.mol⁻¹), takže rotace v roztoku je v podstatě volná. Z toho vyplývá, že všechny polohy na Cp cyklech jsou pro případný substituent ekvivalentní.



Obr. 6.42: Ferrocen a dekamethylferrocen, (Astruc, p. 252)

Ferrocen je na vzduchu stálý oranžový krystalický prášek, viz Obr. 6.43, který sublimuje při teplotě 184 °C za atmosférického tlaku a je stabilní až do zhruba 400 °C. Je rozpustný v uhlovodících a má kovalentní vazby mezi Cp kruhy a atomem železa. Ostatní metalloceny jsou také barevné krystalické látky. Vanadocen (VCp₂) je purpurový, chromocen (CrCp₂) je jasně červený, manganocen (MnCp₂) je hnědý, kobaltocen (CoCp₂) purpurový a nikelocen (NiCp₂) zelený.



Obr. 6.43: Krystaly ferrocenu (Bernal, 2014)

Ferrocen a ostatní metalloceny našly využití v různých oborech. Uplatňují se při vývoji nových materiálů a v molekulárním inženýrství, např. k syntéze komplexů schopných přenosu elektrického náboje nebo molekulárních ferromagnetů (2015).

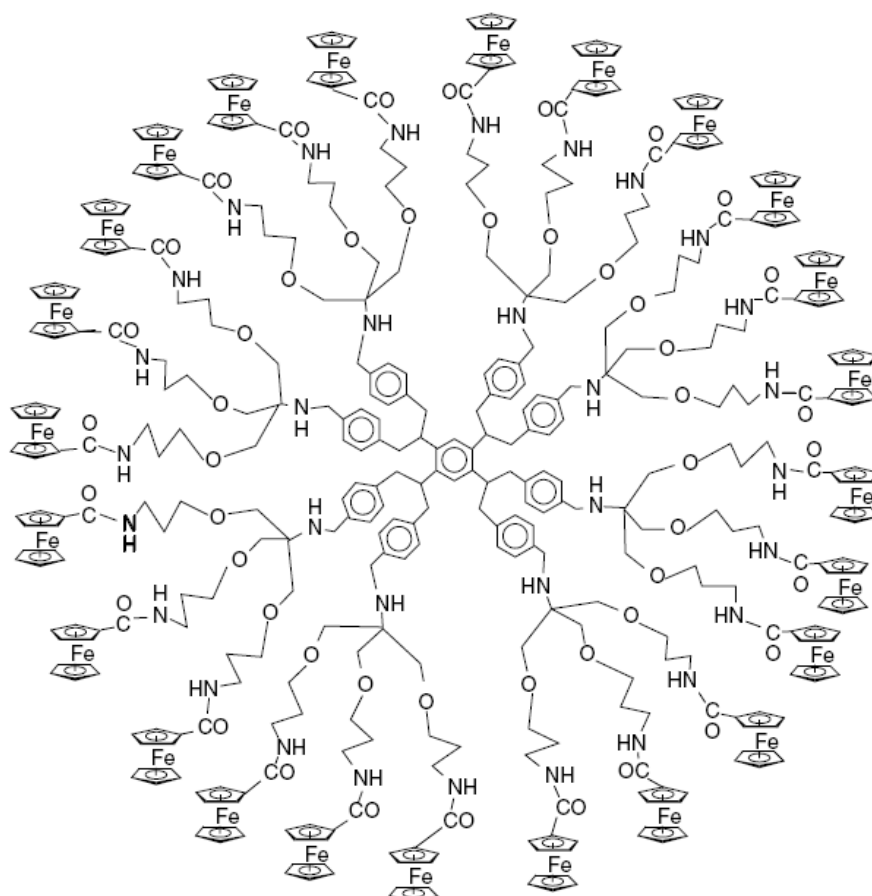
Molekulární inženýrství je obor, který se zabývá tvorbou molekulových systémů požadovaných vlastností a funkčních molekulárních zařízení o rozměrech jednotek nanometrů.

Ferrocen se používá k výrobě selektivních senzorů pro molekulární rozpoznávání (Astruc, p. 283), elektrod pro redoxní katalýzu (např. pro stanovení glukózy v krvi) nebo dendritických elektrochemických senzorů. Ferrocenové deriváty se uplatňují v chemické katalýze jako ligandy včetně chirálních aplikací. Jsou klíčovým prvkem v polymerizaci alkenů a uplatňují i při výrobě barev. A konečně bylo mnoho metalocenů studováno jako látky proti rakovinnému bujení a jiná terapeutická činidla, protože jejich redoxní aktivita může mít významný vliv na jejich cytotoxicitu.

V souvislosti s ferrocenem a využitím metalocenů v molekulárním inženýrství je uveden příklad sloučeniny, která patří tzv. *dendrimery*. Dendrimery jsou molekuly, které svou rozvětvenou strukturou obrazně připomínají keříček. Příklad na Obr. 6.44 je dendritická molekula s jednotkami ferrocenu v terminálních pozicích.

Chiralita je druh izomerie, kdy se k sobě izomery mají jako zrcadlové obrazy - enantiomery. U chirálních syntéz lze použitím vhodného katalyzátoru zvýšit výtěžek jednoho z enantiomerů.

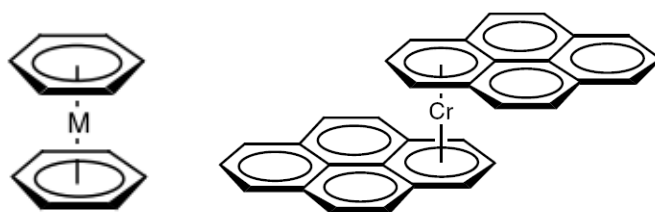
Anglické přídavné jméno *dendritic* znamená keříčkovitý.



Obr. 6.44: Struktura dendrimery s ferrocenem, (Astruc, p. 283)

Metaloceny odvozené od ostatních kovů mají také zajímavé vlastnosti, např. $[\text{TiCp}_2\text{Cl}_2]$ vykazuje protinádorové účinky a deriváty lanthanoidů jsou známé jako nová generace iniciátorů polymerizace alkenů. Zirkonocen je také klíčovým prvkem při polymerizaci alkenů (konkrétně aktivní částice je $[\text{ZrCp}_2(\text{Me})]^+$), viz Obr. 6.1.

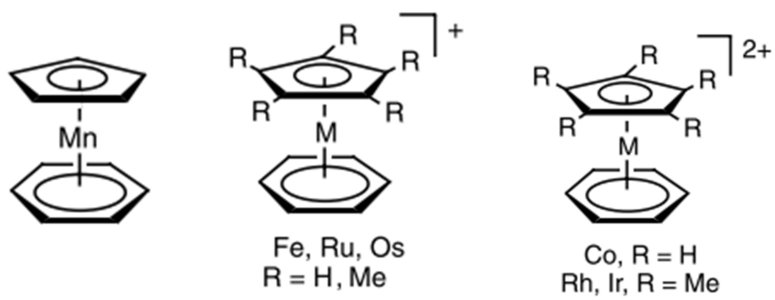
bis(arenové) komplexy, ve kterých se k atomu kovu koordinují dva rovnoběžně ligandy s benzenovými kruhy, z nichž nejjednodušší je samotný benzen. Tyto komplexy jsou známy od většiny přechodných kovů. Jejich složení lze vyjádřit obecným vzorcem $[\text{M}(\text{C}_6\text{H}_6)_2]$, ve kterém je M obecný symbol pro kovy a jejich struktura je zřejmá z Obr. 6.45 vlevo. Na stejném obrázku vpravo je konkrétní příklad komplexu s atomem chromu, ke kterému se koordinují dvě molekuly polyaromatického uhlovodíku s kondenzovanými benzenovými kruhy, jehož triviální název je *pyren*.



Obr. 6.45: Struktura metal-bis-aren komplexů (Astruc, p. 271 a 275)

Na benzenová jádra zabudovaná do komplexu s kovem je možné umístit funkční skupiny snadněji než na samotný benzen. V porovnání s cyklopentadienyly jsou benzenové kruhy vázány ke kovu méně pevně (Crabtree, p. 148). Oddělení benzenového kruhu po jeho funkcionalizaci je snadné např. pomocí viditelného záření. Těchto vlastností se využívá při syntéze aromatických molekul, kde našly bis(arenové) komplexy své využití. Existují také smíšené komplexy s cyklopentadienylovými i arenovými ligandy, jejichž struktura a příklady jsou uvedené na Obr. 6.46. Tyto smíšené komplexy jsou robustní a mají stejné redoxní vlastnosti jako metalloceny a přitom nabízí možnosti vyšší reaktivity, která je typická pro arenové komplexy.

Pyren je polycyklický aromatický uhlovodík, jehož molekula se skládá ze čtyř kondenzovaných benzenových kruhů. Tato bezbarvá pevná látka vzniká při nedokonalém spalování organických sloučenin. Deriváty pyrenu se používají ve fluorescenční mikroskopii nebo jako výchozí materiál při výrobě barviv. Polyaromatické uhlovodíky jsou však mutagenní a karcinogenní látky.



Obr. 6.46: Smíšené komplexy s arenovými a cyklopentadienylovými ligandy (Astruc, p. 275)

7 Soubor úloh k tématu organokovové sloučeniny

Na výkladový text o organokovových sloučeninách navazuje soubor šedesáti tří úloh k tématu organokovové sloučeniny, ze kterých učitelé mohou vybírat při plnění různých didaktických cílů. Jde zejména o přípravu didaktického zkušebního testu (testy ke klasifikačním a hodnoticím účelům), ústní zkoušení nebo kontrolní testy, které mají významnou motivační funkci. Tyto úlohy jsou k práci připojeny jako přílohy 1 a 2. Funkcí souboru úloh vypracovaných v rámci této disertační práce není jen zjišťovat porozumění a osvojení znalostí z problematiky organokovových sloučenin žáky, ale nastavením obtížnosti těchto otázek, tzn. určením nároků k písemnému nebo ústnímu zkoušení, lze nastavit požadovanou úroveň znalosti problematiky organokovových sloučenin pro určitou úroveň systému vzdělávání v České republice. Celá tato práce včetně výkladového textu o organokovových sloučeninách v kap. 6 je určena pro potřeby středních škol, zejména gymnázií a odborných středních škol vyučujících chemické obory a obory, ve kterých je kladen důraz na chemii. Tedy i soubor úloh je navržen pro úroveň středních škol a představuje úroveň znalostí a porozumění organokovovým sloučeninám, kterou by měli dosáhnout studenti těchto středních škol s výukou chemie.

Soubor úloh strukturou odpovídá struktuře výkladového textu uvedeného v kapitole 6 a je rozdělen do čtyř okruhů:

- Vymezení organokovových sloučenin
- Iontové organokovové sloučeniny
- Kovalentní organokovové sloučeniny
- Organokovové sloučeniny s přechodnými kovy

Podle těchto okruhů bylo i zvoleno číslování úloh. Okruh Vymezení organokovových sloučenin obsahuje pět úloh V1 až V5, okruh Iontové organokovové sloučeniny obsahuje devět úloh I1 až I9, okruh Kovalentní organokovové sloučeniny obsahuje dvacet devět úloh K1 až K29 a poslední okruh Organokovové sloučeniny s přechodnými kovy obsahuje dvacet úloh P1 až P20. Rozdíly v počtu úloh v každém okruhu jsou dány obsáhlostí odpovídajících kapitol ve výkladovém textu. Úlohy jsou zaměřeny na základní a nejdůležitější znalosti uvedené ve výkladovém textu.

Příloha s úlohami je rozdělena do dvou částí. V první části je uvedeno zadání úloh s vynechaným místem pro správné odpovědi. V druhé části je uvedeno řešení úloh a navíc je u každé úlohy uveden typ o jakou úlohu se jedná. Jestli se jedná o text zadání nebo řešení úloh lze na první pohled snadno rozlišit podle použitého

formátu odrážek, přičemž pro zadání je použito jako odrážky před každým zněním úlohy prázdné kolečko, zatímco správné řešení je uvedeno zátržítkem.

K tématu organokovových sloučenin jsou připravené v přílohách 1 a 2 různé náročné úlohy. Pro rozlišení úloh z hlediska náročnosti jsem použil *revidovanou Bloomovu taxonomii*. Zvládnutí úloh k tématu organokovových sloučenin vyžaduje myšlenkové operace revidované Bloomovy taxonomie **zapamatovat, rozumět, aplikovat, analyzovat**. Každá vyšší kategorie revidované Bloomovy taxonomie předpokládá zvládnutí myšlenkových operací kategorie předešlé (Mahjerová, 2016). Úlohy, které by vyžadovaly myšlenkové operace **hodnotit a tvořit** podle revidované Bloomovy taxonomie by byly v rámci tématu organokovových sloučenin pro úroveň středních škol příliš obtížné, a proto úlohy s těmito operacemi nejsou v souboru úloh zahrnuty. Ve specifikační tabulce Tabulka 7-1 jsou zařazeny vytvořené úlohy k tématu organokovových sloučenin. U každé úlohy je uvedena její klasifikace, náročnost myšlenkových operací podle revidované Bloomovy taxonomie vzdělávacích cílů nutných ke zvládnutí úlohy, popis toho, co daná úloha zjišťuje z oblasti organokovových sloučenin a návaznost otázky na další oblasti chemie popřípadě jiných vyučovacích předmětů. Pokud v tabulce není uvedena návaznost na další oblasti chemie, týká se daná úloha pouze oblasti organokovových sloučenin.

Dále můžeme úlohy klasifikovat podle Bílka a Jeřábka (2010) nebo Doudlíka a Škody (2015) v závislosti na jejich typu. Soubor úloh o organokovových sloučeninách obsahuje úlohy těchto typů:

Otevřené široké úlohy produkční

V otevřených širokých úlohách se vyžaduje, aby se žák co nejrozsáhleji vyjádřil. Požadavky na rozsah odpovědi jsou vždy úměrné věku a znalostem žáků. Pro zvýšení kvality otevřených širokých úloh je dobré vždy vymezit požadavky na odpověď. Úlohy s otevřenou širokou odpovědí jsou vhodné zejména při ověřování rozsáhlejších vědomostí nebo dovedností získaných během delšího časového období. Z důvodů nároků na širší vědomosti jsou tyto úlohy vhodné spíše pro střední školy (Bílek, a další, 2000).

Úloh tohoto typu je v souboru zařazeno jen několik. Jsou to K15, K29, P3, P8, P11, P17. Protože tato forma odpovědi vyžaduje nejdokonalejší porozumění, je zvolena otevřená široká úloha k zodpovězení otázek požadujících vysvětlení zcela zásadních poznatků a principů v oblasti organokovových sloučenin, a předpokládá se, že studenti dokáží odpověď formulovat souvisle ve větách. Přesto je i rozsah odpovědi na tyto úlohy k tématu organokovových sloučenin poměrně krátký a odpovědi nepřesahují svou délkou dvě nebo tři věty. Proto jsou také tyto úlohy ve specifikační tabulce Tabulka 7-1 a příloze 2 označeny pouze jako úlohy otevřené se **širší** odpovědí produkční.

U řešení úloh s otevřenou odpovědí v příloze 2 je vždy uvedena vzorová vyčerpávající odpověď. Každý učitel při přípravě vlastního testu a vyhodnocení správných odpovědí musí sám posoudit úplnost a přesnost odpovědí na tyto otázky. Příkladem takové úlohy je úloha K15, která vyžaduje vysvětlit princip růstové reakce. Jako vzorová odpověď je uvedeno vysvětlení: *Při růstové reakci probíhají opakovaně inserce monomerní jednotky, např. ethenu, do vazby Al-C organokovových sloučenin hliníku, uhlíkový řetězec tak narůstá.* Na zvážení učitele pak je, jestli bude jako správné řešení považovat uvedení informace o růstu uhlíkového řetězce i zmínku o opakovaných insercích nebo mu k zodpovězení otázky postačí pouze jedna z uvedených informací.

Podobně je tomu u úlohy P20, která testuje znalost názvu a fyzikálních vlastností nejjednoduššího metalocenu. Vzorová odpověď uvádí, že jde o ferrocen, což je na vzduchu stálá krystalická látka oranžové barvy. Je rozpustný v uhlovodících a teplotně stabilní až do 400 °C. Je opět na zvážení učitele, zda bude trvat na uvedení teploty rozkladu nebo mu postačí k uznání odpovědi za správnou pouze např. název, skupenství, barva a rozpustnost.

Otevřené úlohy se stručnou odpovědí

Otevřené úlohy se stručnou odpovědí vyžadují, aby se žák krátce a samostatně vyjádřil. Nejčastěji se požaduje odpověď v podobě definice, matematického vztahu, výčtu vlastností, chemického vzorce atd. Úloh tohoto typu je v souboru úloh k organokovovým sloučeninám nejvíce. Bílek (2000) rozřazuje otevřené úlohy se stručnou odpovědí podle druhu odpovědi na dva typy:

Otevřené úlohy se stručnou odpovědí produkční, ve kterých se žák zcela samostatně vyjadřuje k zadané úloze. V souboru úloh se jedná o úlohy: I2, I7, K1, K9, K11, K14, K16, K19, K20, K24, K28, P2, P20.

Podobně jako u otevřených úloh se širokou odpovědí je např. u úlohy K19, která požaduje po studentech, aby uvedli příklady strukturních vzorců stavebních jednotek vláken silikonů, na zvážení učitele, aby posoudil úplnost odpovědi. Variabilita možných odpovědí na tuto úlohu spočívá v uvedení různých možných uhlovodíkových zbytků. Na zvážení učitele vyhodnocujícího test pak je, jestli jako správnou odpověď uzná nejčastější a nejdůležitější methylové skupiny nebo, jestli bude vyžadovat uvedení dalších uhlovodíkových zbytků nebo jen obecný symbol pro uhlovodíkový zbytek *R*.

Otevřené úlohy se stručnou odpovědí doplňovací jsou úlohy, ve kterých žák většinou doplňuje pouze slova do částečně připravené odpovědi. V připravené odpovědi je pro žákovo vyjádření vynechané místo např. s použitím řady teček. V sadě testových úloh se jedná o úlohy: V1, V2, V3, I5, I8, K6, K10, K12, K23, K27, P4, P5, P6, P16, P18.

Navíc k předešlým dvěma typům otevřených úloh se stručnou odpovědí jsem vytvořil několik úloh, které by bylo možné nazvat jako **otevřené úlohy se stručnou odpovědí opravovací**. Jedná se o úlohy: I4, K2, K13, K26, P1. V těchto úlohách mají testovaní žáci za úkol najít chybu v překládaném tvrzení a opravit ji, přičemž se většinou jedná o jedno nebo několik jednotlivých slov.

Uzavřené úlohy se stručnou odpovědí doplňovací

V souboru úloh k tématu organokovových sloučenin mají úlohy tohoto typu v zadání nabídku pojmů, ze kterých žák vybírá správnou variantu k doplnění do částečně připravené odpovědi. Tato nabídka bývá od ostatního textu obvykle graficky oddělena - v případě úloh v příloze této práce je použito rámečku. Obecně platí, že úlohy s uzavřenou odpovědí mohou měřit výsledky výuky jen nižší úrovně vzdělávacích cílů a patří obvykle k jednodušším úlohám. Složitější dovednosti mohou postihnout jen otevřené položky (Chrásky, 1999).

Dichotomické úlohy

Dichotomické úlohy jsou takové úlohy, kdy žák vybírá pouze ze dvou alternativ odpovědi, např. „Ano – Ne“, „Vždy – Nikdy“, „Mohl – Nemohl“ atd. Dichotomické úlohy se většinou používají ke zjišťování znalosti faktů. Pro eliminaci hádání odpovědí je nutné používat vždy dostatečný počet dichotomických úloh zaměřených na totožnou znalost. Hlavní výhodou dichotomických úloh je jejich snadná tvorba a rychlé vyhodnocování. V sadě testových úloh se jedná o úlohy V5, I3, I9, K8, P19.

Úlohy s výběrem odpovědí

Základním předpokladem všech úloh s výběrem odpovědí, včetně dichotomických, je to, aby předkládané distraktory (nabídky odpovědí) byly pro žáky, kteří neznají správnou odpověď, stejně přijatelné (Babinský, 2016). Úlohy s výběrem odpovědí a jejich distraktory musí být formulovány co nejstručněji. Dlouhý a nepřehledný text odvádí žáky od podstaty problému.

Úlohy s výběrem odpovědí se většinou dělí v (Bílek, a další, 2010) podle druhu odpovědi na:

- Úlohy s výběrem odpovědí (jedna správná odpověď)
- Úlohy s výběrem odpovědí (jedna nejpřesnější odpověď)
- Úlohy s výběrem odpovědí (jedna nesprávná odpověď)
- Úlohy s výběrem odpovědí (vícenásobná odpověď)

V souboru úloh k zjišťování znalostí o organokovových sloučeninách bylo použito výběrových úloh pouze typu jedna správná odpověď a jedná se o úlohy I6, K3, K7, P9, P12, P13, P14 a jedna úloha typu vícenásobná správná odpověď – I1. V úloze I1

testování žáci vybírají z nabídky kovů více různých kovů, od kterých je možné odvodit iontové organokovové sloučeniny.

Přiřazovací úlohy

U těchto úloh jsou uvedeny dvě množiny různých pojmů a úkolem žáků je najít souvislost mezi pojmy a přiřadit je k sobě. Vhodné je použít různý počet prvků v obou množinách, kvůli udržení pozornosti až do konce řešení úlohy. V sadě testových úloh se jedná o úlohy V4 a K22. V případě těchto úloh obě množiny pojmů určených k vzájemnému přiřazení obsahují stejný počet prvků a tyto úlohy se svou náročností řadí k méně obtížným úlohám.

Úlohy pořádací

Odpovědi u tohoto typu úlohy jsou většinou vypsány a po testovaných žácích se požaduje, aby uspořádali odpovědi podle určitého hlediska např. velikosti, délky, množství, pořadí v algoritmu atd. (Štěpánek, 2009). V sadě testových úloh se jedná o úlohy K5, ve které žáci řadí organokovové sloučeniny podle reaktivity a K25, ve které žáci řadí organokovové sloučeniny podle toxicity.

Tabulka 7-1: Specifikační tabulka úloh k tématu organokovové sloučeniny

Číslo úlohy	Klasifikace otázky	Revidovaná Bloomova taxonomie	Co otázka zjišťuje o organokovech	Návaznost na další oblasti chemie
Vymezení organokovových sloučenin				
ÚLOHA V1	Úloha otevřená se stručnou odpovědí doplňovací	Zapamatovat	Úloha ověřuje definici organokovových sloučenin.	Obecná chemie – rozdělení kovy, polokovy, nekovy.
ÚLOHA V2	Úloha otevřená se stručnou odpovědí doplňovací	Rozumět	Úloha ověřuje pochopení pojmu <i>ligand</i> .	Organická a anorganická chemie – pojem ligand.
ÚLOHA V3	Úloha otevřená se stručnou odpovědí doplňovací	Zapamatovat	Úloha ověřuje znalost rozdělení organokovových sloučenin.	

ÚLOHA V4	Úloha uzavřená přiřazovací	Rozumět	Úloha ověřuje pochopení systému rozdělení organokovových sloučenin.	
ÚLOHA V5	Úloha uzavřená dichotomická	Zapamatovat	Úloha ověřuje znalost reaktivity organokovových sloučenin ve srovnání ostatními chemickými sloučeninami.	
Iontové organokovové sloučenin				
ÚLOHA I1	Úloha uzavřená s výběrem odpovědi (vícenásobná správná odpověď)	Zapamatovat	Úloha ověřuje znalost prvků, které tvoří iontové organokovové sloučeniny.	Obecná chemie – periodický systém, charakter chemické vazby.
ÚLOHA I2	Úloha otevřená se stručnou odpovědí produkční	Rozumět	Úloha ověřuje pochopení charakteru vazby v organokovových sloučeninách.	Obecná chemie – elektronegativita , charakter chemické vazby.
ÚLOHA I3	Úloha uzavřená dichotomická	Rozumět	Úloha ověřuje pochopení důvodu vysoké reaktivity organokovových sloučenin.	Obecná chemie – chemická vazba.
ÚLOHA I4	Úloha otevřená se stručnou odpovědí opravovací	Zapamatovat (v návaznosti na obecnou chemii analyzovat)	Úloha ověřuje znalost velikosti koordinační sféry prvků tvořících iontové organokovové sloučeniny.	Obecná chemie – periodický zákon, velikost atomů

ÚLOHA I5	Úloha otevřená se stručnou odpovědí doplňovací	Zapamatovat , rozumět	Úloha ověřuje znalost použití organokovových sloučenin kovů první skupiny periodické tabulky.	Organická chemie - alkylace
ÚLOHA I6	Úloha uzavřená s výběrem odpovědi (jedna odpověď správná)	Zapamatovat	Úloha ověřuje znalost výchozí suroviny pro výrobu alkyllithia.	Anorganická chemie – prvek lithium
ÚLOHA I7	Úloha otevřená se stručnou odpovědí produkční	Rozumět	Úloha ověřuje znalost obecného vzorce Grignardových činidel a pochopení významu jeho symbolů.	Anorganická chemie – prvek hořčík, halogeny organická chemie – uhlovodíkový zbytek
ÚLOHA I8	Úloha otevřená se stručnou odpovědí doplňovací	Rozumět	Úloha ověřuje znalost a pochopení využití Grignardových činidel.	Organická chemie – alkylace, arylace
ÚLOHA I9	Úloha uzavřená dichotomická	Zapamatovat	Úloha ověřuje znalost a vzájemné porovnání reakivity Grignardových činidel a organolithných sloučenin.	
Kovalentní organokovové sloučeniny				
ÚLOHA K1	Úloha otevřená se stručnou odpovědí produkční	Zapamatovat	Úloha ověřuje znalost metaloidů, které tvoří organokovové sloučeniny.	Obecná chemie - polokovy

ÚLOHA K2	Úloha otevřená se stručnou odpovědí opravovací	Rozumět	Úloha ověřuje pochopení důvodu podobnosti mezi organokovovými sloučeninami kovů 11. a 12. skupiny a nepřechodných kovů.	Obecná chemie – elektronová struktura valenční sféry prvků
ÚLOHA K3	Úloha uzavřená s výběrem odpovědi (jedna odpověď správná)	Zapamatovat	Úloha ověřuje znalost rozdílu elektronegativit pro kovalentní vazbu.	Obecná chemie – kovalentní chemická vazba
ÚLOHA K4	Úloha uzavřená doplňovací	Rozumět	Úloha ověřuje znalost kuprátů a jejich použití.	Organická chemie – alkylace, arylace
ÚLOHA K5	Úloha uzavřená seřazovací	Aplikovat	Úloha ověřuje schopnost srovnání důležitých skupin organokovových sloučenin podle reakivity.	Organická chemie – chemická syntéza
ÚLOHA K6	Úloha otevřená se stručnou odpovědí doplňovací	Rozumět	Úloha ověřuje znalost a složení organokovových sloučenin 12. skupiny prvků.	Organická chemie – uhlovodíkový zbytek
ÚLOHA K7	Úloha uzavřená s výběrem odpovědi (jedna odpověď správná)	Rozumět	Úloha ověřuje znalost a porozumění v použití organokovových sloučenin prvků 12. skupiny.	Organická chemie - alkylace

ÚLOHA K8	Úloha uzavřená dichotomická	Rozumět	Úloha ověřuje pochopení rozdílu v použití organokovových sloučenin 1.,2, a 12. skupiny prvků.	Anorganická chemie – prvek rtuť
ÚLOHA K9	Úloha otevřená se stručnou odpovědí produkční	Rozumět	Úloha ověřuje znalost vlastností organokovových sloučenin rtuti.	
ÚLOHA K10	Úloha otevřená se stručnou odpovědí doplňovací	Rozumět	Úloha ověřuje znalost a pochopení principu procesu biologické methylace.	Biochemie – podstata vysoké toxicity rtuti
ÚLOHA K11	Úloha otevřená se stručnou odpovědí produkční	Aplikovat	Úloha ověřuje znalost složení organokovových sloučenin bóru.	Anorganická chemie – prvek bór. Organická chemie – uhlovodíkový zbytek
ÚLOHA K12	Úloha otevřená se stručnou odpovědí doplňovací	Zapamatovat	Úloha ověřuje znalost využití procesu hydroborace	Organická chemie - alkoholy
ÚLOHA K13	Úloha otevřená se stručnou odpovědí opravovací	Aplikovat	Úloha ověřuje pochopení principu hydroborace	Organická chemie – alkeny, adice
ÚLOHA K14	Úloha otevřená se stručnou odpovědí produkční	Analyzovat	Úloha ověřuje znalost a pochopení vlastností organokovových sloučenin hliníku	Organická chemie - alkyl
ÚLOHA K15	Úloha otevřená se širší odpovědí produkční	Rozumět	Úloha ověřuje znalost a pochopení principu růstové reakce.	Organická chemie – polymerizace

ÚLOHA K16	Úloha otevřená se stručnou odpovědí produkční	Zapamatovat	Úloha ověřuje znalost využití organohlinitých sloučenin.	Organická chemie – alkoholy, terpeny, polymerizace
ÚLOHA K17	Úloha uzavřená doplňovací	Zapamatovat	Úloha ověřuje znalost a pochopení použití různých alkylačních činidel.	Organická chemie – nenasycené vazby, alkylace
ÚLOHA K18	Úloha uzavřená doplňovací	Aplikovat	Úloha ověřuje pochopení příčin a znalost vlastností organokřemičitých sloučenin.	Anorganická chemie – prvek křemík
ÚLOHA K19	Úloha otevřená se stručnou odpovědí produkční	Aplikovat, zapamatovat	Úloha ověřuje znalost struktury silikonů.	Organická chemie – polymerní sloučeniny
ÚLOHA K20	Úloha otevřená se stručnou odpovědí produkční	Analyzovat	Úloha ověřuje znalost a pochopení příčin rozdílných vlastností různých typů silikonů.	Organická chemie – polymerní sloučeniny
ÚLOHA K21	Úloha uzavřená doplňovací	Zapamatovat	Úloha ověřuje znalost a pochopení principu Mülleroва-Rochowova procesu.	Organická chemie – halogenderiváty uhlovodíků, alkylace
ÚLOHA K22	Úloha uzavřená přiřazovací	Analyzovat	Úloha ověřuje znalost využití organocíničitých sloučenin.	Organická chemie – PVC, organická syntéza, biochemie - biocidy
ÚLOHA K23	Úloha otevřená se stručnou odpovědí doplňovací	Aplikovat	Úloha ověřuje znalost přípravy organokovových sloučenin cínu.	Obecná chemie – chemické rovnice, organická chemie - alkylace

ÚLOHA K24	Úloha otevřená se stručnou odpovědí produkční	Rozumět	Úloha ověřuje pochopení problematiky s aditivy do benzínů.	Organická chemie – zpracování ropy. Environmentální výchova.
ÚLOHA K25	Úloha uzavřená seřazovací	Aplikovat	Úloha ověřuje schopnost posoudit a porovnat toxicitu významných organokovových sloučenin.	Biochemie – toxické sloučeniny
ÚLOHA K26	Úloha otevřená se stručnou odpovědí opravovací	Rozumět	Úloha ověřuje pochopení odvozování organokovových sloučenin od vybraných prvků.	Anorganická chemie – prvky antimon a bismut
ÚLOHA K27	Úloha otevřená se stručnou odpovědí doplňovací	Zapamatovat	Úloha ověřuje znalost souvislostí s použitím organokovových sloučenin arsenu.	Anorganická chemie – prvek arsen, léčiva
ÚLOHA K28	Úloha otevřená se stručnou odpovědí produkční	Zapamatovat	Úloha ověřuje znalost způsobů možného zasažení bojovými chemickými látkami.	Civilní obrana, havarijní plánování
ÚLOHA K29	Úloha otevřená se širší odpovědí produkční	Zapamatovat	Úloha ověřuje znalost významu selenu pro biologické organismy.	Biochemie – esenciální prvky

Organokovové sloučeniny s přechodnými kovy				
ÚLOHA P1	Úloha otevřená se stručnou odpovědí opravovací	Analyzovat	Úloha ověřuje znalost dělení organokovových sloučenin přechodných kovů.	Obecná chemie – rozdělení kovů
ÚLOHA P2	Úloha otevřená se stručnou odpovědí produkční	Zapamatovat	Úloha ověřuje znalost rozdělení organokovových sloučenin přechodných kovů.	Organická chemie – uhlovodíky, uhlovodíkové zbytky
ÚLOHA P3	Úloha otevřená se širší odpovědí produkční	Rozumět	Úloha ověřuje porozumění osmnáctielektronovém u pravidlu.	Obecná chemie – elektronová konfigurace
ÚLOHA P4	Úloha otevřená se stručnou odpovědí doplňovací	Rozumět	Úloha ověřuje porozumění vlivu elektronové konfigurace na reaktivitu sloučeniny.	Obecná chemie – elektronová konfigurace
ÚLOHA P5	Úloha otevřená se stručnou odpovědí doplňovací	Rozumět	Úloha ověřuje pochopení principu <i>β-eliminace</i> .	Organická chemie – eliminační reakce
ÚLOHA P6	Úloha otevřená se stručnou odpovědí doplňovací	Aplikovat	Úloha ověřuje znalost a pochopení přípravy alkylkomplexů pomocí Grignardových činidel.	Organická chemie – alkylace
ÚLOHA P7	Úloha uzavřená doplňovací	Rozumět	Úloha ověřuje pochopení principu <i>inserce</i> a znalost jejího použití.	Organická chemie – polymerizace, organická syntéza
ÚLOHA P8	Úloha otevřená se širší odpovědí produkční	Rozumět	Úloha ověřuje pochopení principu <i>inserce</i> a znalost jejího použití.	Organická chemie – polymerizace, organická syntéza

ÚLOHA P9	Úloha uzavřená s výběrem odpovědi (jedna odpověď správná)	Analyzovat	Úloha ověřuje znalost struktury karbenových komplexů.	Organická chemie – uhlovodíkové zbytky
ÚLOHA P10	Úloha uzavřená doplňovací	Rozumět	Úloha ověřuje znalost rozdělení a vlastností karbenových komplexů přechodných kovů.	Organická chemie – nukleofilní a elektrofilní reakce
ÚLOHA P11	Úloha otevřená se širší odpovědí produkční	Rozumět	Úloha ověřuje znalost principu <i>metateze</i> <i>alkenů</i> .	Organická chemie – alkeny, chemická syntéza
ÚLOHA P12	Úloha uzavřená s výběrem odpovědi (jedna odpověď správná)	Analyzovat	Úloha ověřuje znalost struktury karbynových komplexů.	Organická chemie – uhlovodíkové zbytky
ÚLOHA P13	Úloha uzavřená s výběrem odpovědi (jedna odpověď správná)	Analyzovat	Úloha ověřuje znalost struktury karbenových komplexů.	Organická chemie – uhlovodíky, uhlovodíkové zbytky
ÚLOHA P14	Úloha uzavřená s výběrem odpovědi (jedna odpověď správná)	Analyzovat	Úloha ověřuje znalost struktury π -komplexů.	Organická chemie – uhlovodíky, uhlovodíkové zbytky
ÚLOHA P15	Úloha uzavřená doplňovací	Zapamatovat	Úloha ověřuje znalost využití π -komplexů.	Organická chemie – chemická syntéza, polymerizace

ÚLOHA P16	Úloha otevřená se stručnou odpovědí doplňovací	Aplikovat	Úloha ověřuje schopnost odvozovat π - <i>ligandy</i> komplexů přechodných kovů.	Organická chemie – uhlovodíky, uhlovodíkové zbytky
ÚLOHA P17	Úloha otevřená se širší odpovědí produkční	Rozumět	Úloha ověřuje porozumění vlivu π - ligandů na reaktivitu π - komplexů.	Organická chemie – indukční efekt (Vondráčková, 2015)
ÚLOHA P18	Úloha otevřená se stručnou odpovědí doplňovací	Zapamatovat	Úloha ověřuje znalost struktury <i>metallocenů</i> .	Organická chemie – uhlovodíky
ÚLOHA P19	Úloha uzavřená dichotomická	Rozumět	Úloha ověřuje pochopení vlivu naplnění osmnáctielektronové konfigurace na reaktivitu komplexu.	Anorganická chemie – elektronová konfigurace
ÚLOHA P20	Úloha otevřená se stručnou odpovědí produkční	Zapamatovat	Úloha ověřuje znalost <i>ferrocenu</i> a jeho vlastností.	Anorganická chemie – prvek železo

8 Vyhodnocení vytvořeného výkladového textu a sady testových úloh

Po vytvoření výkladového textu i sady testových úloh je potřeba získat zpětnou vazbu, aby byly odstraněny případné nedostatky. Za tímto účelem byl didaktický text zadán k hodnocení učitelům z praxe. Existuje mnoho možností sociálního výzkumu, ale v pro účely vyhodnocení výkladového textu a sady úloh o organokovových sloučeninách byla zvolena metoda strukturovaného rozhovoru. Protože, pokud chce výzkumník získat skutečně pravdivá data, neovlivněná tím, co si myslí respondent o tom, jak „by to asi mělo být“, je výhodné provést právě osobní řízený rozhovor. Strukturovaný rozhovor s otevřenými otázkami je nejběžnější metodou kvalitativního výzkumu. Strukturovaný rozhovor je metoda sběru dat, která se nachází na pomezí dotazníku a rozhovoru. Jde o časově náročnou a velmi těžko zpracovatelnou, ale do jisté míry spolehlivou metodu výzkumu. Otázky musí být předem připravené a jejich pořadí je striktně dáno (Matoušková, 2012). Prostřednictvím strukturace se získá rámec pro sběr a analýzu dat, což umožní porovnání výsledků různých rozhovorů. Nicméně je nechán prostor spontánně klást při rozhovoru nové otázky nebo zahrnout nové problémy a témata. Některá témata je možné při vyhodnocení rozhovoru také odstranit (Skalková, a další, 1983).

Osobní řízený strukturovaný rozhovor byl zvolen po vzoru disertační práce Š. Matouškové (2012), která v rámci své práce připravovala také nové didaktické texty, a byl použit jako vhodný nástroj k vyhodnocení zpracování didaktických textů o organokovových sloučeninách, a to jak výkladového textu, tak i sady testových úloh. Rozhovory s učiteli chemie na středních školách v různých částech České republiky by měly zjistit přístup vyučujících k výuce organokovových sloučenin, dostupnost učebních materiálů, které se vztahují k zmíněnému tématu, postoj k otázkám spojených s použitím nových didaktických textů, posouzení úrovně zpracování didaktických textů o organokovových sloučeninách, odhalení jejich nedostatků, a k zhodnocení úrovně obtížnosti daného tématu pro střední školy.

8.1 Řízený rozhovor a jeho struktura

Rozhovor je široce používanou výzkumnou metodou v oblasti sociálního výzkumu, která umožňuje zachytit nejen fakta, ale i hlouběji proniknout do motivů a postojů respondentů (Průcha, a další, 2003). Rozhovor je upřednostňován z několika důvodů. Jedním z nich je případ, kdy existuje pravděpodobnost velmi malé návratnosti dotazníku. Vzorek respondentů je sice malý, ale ponor do problematiky je hlubší. U rozhovoru lze sledovat i některé vnější reakce respondenta a podle nich potom pohotově usměrňovat další průběh kladení otázek

(Held, 2011). Obsahem rozhovoru jsou otázky a odpovědi. Používají se otázky uzavřené, polouzavřené a otevřené.

Vzhledem k tomu, že rozhovor umožňuje volnost a pružnost, kterou např. dotazník nemá, dává se v něm přednost otázkám otevřeným. Otevřené otázky se volí z toho důvodu, aby respondent nebyl omezován v odpovědích a mohl se k tématu subjektivně vyjádřit. Otázky by měly být formulovány dostatečně zřetelně, aby bylo jasné, na co se ptáme. V případě, že se vyskytnou otázky zjišťovací, měly by vybízet k rozvedení, vysvětlení či odůvodnění odpovědi. V průběhu rozhovoru je možné otázku přeformulovat, rozšířit, specifikovat či požádat o vysvětlení. Navíc dotazovaný není nijak omezován a není mu sugerována žádná odpověď.

Úspěšnost rozhovoru velmi závisí na tazateli, který rozhovor jen řídí a kontroluje. Ten může rozhovor ovlivnit jak negativním, tak pozitivním směrem. Důležité je nejen jeho zainteresování do problému, nýbrž také přátelský svěží přístup k dotazovanému a vytvoření příjemné otevřené atmosféry. Naopak chladný nepřívětivý přístup tazatele k respondentovi sotva povede k dobrému rozhovoru a použitelným výsledkům. Tazatel by se měl umět vžít do situace dotazovaného, aby získal jeho důvěru a náklonnost. Důvěru získá také tím, že ujistí respondenta o ochraně jeho osobních údajů, a zaručí mu naprostou diskrétnost. Dále je třeba, aby se tazatel vyvaroval jakýchkoli verbálních i nonverbálních reakcí na respondentovy odpovědi. Jen malé pokrčení nosu či zvednutí obočí může vést k odrazení respondenta (Skalková, a další, 1983).

Teoretická příprava na rozhovor začíná jasným stanovením tématu a jeho rozčleněním do oblastí, kterými se chceme v rozhovoru zabývat. Následně je nutné prostudovat dostupnou literaturu pro dobrou orientaci v tématu a znalost možných souvislostí. Pak k jednotlivým oblastem zformulujeme hypotézy a na jejich základě konkrétní otázky. Otázky rozhovoru jsou vypracovány na základě vědeckých kritérií, která sledují konkrétní cíle. Tímto způsobem lze získat názory, myšlenky, očekávání a postoje k jednotlivým oblastem šetření. Pomocí rozhovoru zjišťujeme subjektivní pohled respondenta či skupiny respondentů.

Důležitou součástí plánování rozhovoru jsou kromě obsahové strukturace i úvahy o technikách dotazování, jako například upoutání pozornosti dotazovaného, motivace apod. Zvláště důležité je zahájení rozhovoru, kterým bychom měli dotazovaného získat a zaujmout pro náš rozhovor. Respondent tak ztratí počáteční zábrany. Dalším zjednodušením mohou být přemostovací a přípravné otázky kladené v průběhu rozhovoru (Skalková, a další, 1983).

Před uvedením rozhovoru do praxe je záhodno provést kontrolu, zda:

- je každou otázku nutné položit. Nadbytečné otázky obtěžují a unavují dotazovaného a zbytečně prodlužují rozhovor.

- se některá otázka v rozhovoru neopakuje. Pokud ano, musí být její funkce jasně podložená, např. reliabilita nebo kontrola konzistentnosti odpovědí.
- jsou všechny otázky jednoduše a jednoznačně formulovány.
- se v rozhovoru nevyskytují záporně formulované otázky, jejichž zodpovězení by mohlo být nejednoznačné.
- nejsou některé otázky formulovány příliš obecně.
- všechny otázky mohou být zodpovězeny. Cílem tazatele není dovést respondenta „do úzkých“.
- nevzniká nebezpečí uvedení dotazovaného do rozpaků. Pokud ano, je třeba zvážit nutnost položení této otázky.
- nevyžadují velké pamětní znalosti. Důvodem je opět ten fakt, že cílem tazatele není dovést respondenta „do úzkých“.
- jsou otázky přiměřené dotazovanému.
- je správné pořadí otázek. Výsledek rozhovoru může být ovlivněn uspořádáním otázek, protože předchozí otázka ovlivní následující.
- obsahuje rozhovor dostatečné množství změn, aby byl dotazovaný motivován pokračovat v odpovědích.
- nejsou otázky formulovány moc sugestivně.
- je rozdělení otázek k jednotlivým oblastem vyvážené.
- jsou úvodní otázky správně formulovány. Počáteční fáze často určuje, kterým směrem se bude celý rozhovor ubírat.
- je závěr rozhovoru dostatečně promyšlen. Rozhovor by měl být ukončen jednoduchými otázkami, aby dotazovaný odcházel s pocitem dobře vykonané práce a s pocitem, že tazateli svými odpověďmi pomohl (Skalková, a další, 1983).

8.2 *Tvorba rozhovoru*

Nejprve byly zformulovány tematické celky, jichž se bude rozhovor týkat. Ke každému tematickému celku pak byly zformulovány konkrétní otázky. Nakonec bylo třeba stanovit, s kolika vyučujícími z jakých škol bude rozhovor proveden. Bylo osloveno přibližně osmdesát vyučujících z vyšších gymnázií, z nižších gymnázií i ze středních odborných škol napříč Českou republikou prostřednictvím emailu. Na tuto výzvu se vrátilo devět kladných odpovědí od učitelů, kteří byli ochotni spolupracovat na vyhodnocení nových didaktických textů o organokovových sloučeninách. Dále byli osobně osloveni tři učitelé z blízko dostupných středních škol. Dva z nich přislíbili spolupráci a rozhovor a třetí se vyjádřil k textům o organokovových sloučeninách písemně. Přesto, že k vyhodnocení měl být použit jako nástroj rozhovor, bylo toto písemné zhodnocení tak vyčerpávající, že bylo zahrnuto a zpracováno mezi ostatními hodnoceními. Celkový počet zpětných vazeb od respondentů tak dosáhl jedenácti vyhodnocení.

K vyhodnocení vytvořeného didaktického textu bylo vytvořeno pět tematických oblastí rozhovoru s konkrétními otázkami. Celá osnova rozhovoru je připojena

k této práci jako příloha 4. Strukturu rozhovoru bylo nutné vytvořit z toho důvodu, aby se tazatel neodchyloval od tématu a také aby byl pokud možno dodržen vymezený čas (Matoušková, 2012). Rozhovor byl koncipován tak, aby trval kolem 30-45 minut.

První tematická oblast *Všeobecné informace* zahrnuje otázky, které nebyly v rozhovoru pokládány, byly doplněny tazatelem před začátkem nebo po skončení rozhovoru.

- Forma školy: gymnázium/střední škola/...
- Pohlaví:
- Datum a čas:
- Trvání rozhovoru:
- Otázky týkající se vzdělání a práce

Druhá tematická oblast *Vzdělání a praxe dotazovaného učitele* se zabývá vzděláním dotazovaných učitelů a jejich pedagogickou praxí. Aprobace, doba pedagogické praxe a zejména počet hodin chemie, které vyučují, a ročník, který převážně vyučují, mohou mít vliv na používání či začleňování učebních materiálů do výuky. Zmíněná oblast rozhovoru obsahuje konkrétně tyto otázky:

- Délka praxe
- Vyučované předměty
- Aprobace
- Počet hodin chemie
- Vyučované ročníky
- Setkal jste se s tématem organokovových sloučenin v rámci Vašeho studia na vysoké škole?

Cílem třetí tematické oblasti *Výuka a příprava na výuku* je zjistit kritéria volby obsahu vyučování o organokovových sloučeninách. Vyučující samozřejmě mají povinnost vyučovat podle stanovených školních vzdělávacích programů. Cílem této části rozhovoru je ale zjistit, podle čeho výuku konkrétně připravují. Zda učitelé vycházejí z toho, co jim o organokovových sloučeninách nabízejí zavedené učebnice nebo si dohledávají informace a zpracovávají vlastní materiály. Zda se organokovovým sloučeninám věnují samostatně, zda je zařazují průběžně do jiných tematických celků nebo nezařazují do výuky vůbec. Zda začleňují do výuky aktuální dění, tedy zda se věnují vztahu chemie a běžného života, vztahu chemie a průmyslu a zda jim téma organokovových sloučenin připadá zajímavé a aktuální. Zmíněná oblast rozhovoru obsahuje konkrétně tyto otázky:

- Obsahuje ŠVP Vaší školy samostatné téma o organokovových sloučeninách? Nebo je toto téma zařazováno do výuky průběžně?
- Je téma organokovových sloučenin pro uplatnění ve vhodném rozsahu ve výuce na středních školách zajímavé?

- Zařadil byste organokovové sloučeniny jako samostatné téma a ve kterém ročníku, nebo byste je zařadil průběžně do výuky?
- Jaké zdroje jsou pro Vás zásadní při přípravě výuky chemie? Podle čeho volíte náplň hodiny? (učebnice, požadavky k přijímačkám, internet, jiné)
- Obsahují Vámi používané zdroje téma organokovových sloučenin?
- Jste spokojen(a) se zpracováním tématu organokovových sloučenin ve vámi používaných materiálech?
- Vyučujete organokovové sloučeniny v rozsahu Vámi používaných zdrojů? Pokud ne, vynecháváte je nebo doplňujete téma dalšími materiály?
- Připravujete si vlastní materiály pro výuku? Modifikujete jiné materiály nebo vytváříte vlastní materiály zcela?
- Zkoušíte organokovové sloučeniny u maturitní zkoušky?
- Co byste si konkrétně představoval, aby Vám učební materiály nabízely?
- Souhlasíte s tvrzením, že v rámci učiva o organokovových sloučeninách je možné procvičit a upevnit základní poznatky obecné, anorganické a organické chemie?

Čtvrtá tematická oblast rozhovoru je nejdůležitější a je zaměřena přímo na vlastní *Hodnocení didaktických textů*. Jako jediná je tato tematická oblast rozdělena do podoblastí. Podoblast *Přehlednost textu* zjišťuje logické členění kapitol a logickou posloupnost řazení pojmů výkladového textu. Podoblast *Obtížnost textu a rozsah učiva* zjišťuje, zda je výklad srozumitelně a pochopitelně vysvětlen, zda je obsahově přiměřeně náročný, zda se vztahuje k praxi, ostatním chemickým disciplínám a vyučovacím předmětům a zda je možné začlenit texty o organokovových sloučeninách do výuky na středních školách. Podoblast *Obrazový materiál* zjišťuje zpracování grafických prvků textů a jejich smysluplnost a vztah k výkladu. Podoblast *Hodnocení úloh* je zaměřena na vyhodnocení testových úloh a zjišťuje jejich náročnost, jednoznačnost, možnosti použití, a jestli je možné odpovědět na ně na základě studia výkladového textu. Zmíněná oblast rozhovoru obsahuje konkrétně tyto otázky:

PŘEHLEDNOST TEXTU

- Má text přehlednou strukturu a je logicky rozčleněný do kapitol?
- Jsou pojmy řazené v logické posloupnosti?

OBTÍŽNOST TEXTU A ROZSAH UČIVA

- Jsou výklad a vysvětlení v textu srozumitelné a pochopitelné? (vynikající, velmi dobrá, dobrá, slabší, nevyhovující)
- Čtivost textu (vynikající, velmi dobrá, dobrá, slabší, nevyhovující)
- Obsahová náročnost textu (příliš náročný, poměrně náročný, optimální, méně náročný, nenáročný)
- Považujete některé kapitoly za příliš náročné a nadbytečné pro zařazení? V případě, že ano, které to jsou?

- do výuky na středních školách
- do seminární přípravy na VŠ
- do zájmových seminářů
- Lze vybrat kapitoly textu nebo jejich části k zařazení do výuky?
- Je výběr a počet pojmů v textu přiměřený úrovni chápání žáků?
- Je učivo v textu (příklady, situace ze života, význam poznatků apod.) vztažené k praxi?
- Je téma textu propojené s ostatními disciplínami? (fyzikou, biologií, praxí...)
- Je téma textu propojené s ostatními oblastmi chemie? (ano x ne; dostatečně x dostatečně)

OBRAZOVÝ MATERIÁL

- Grafické zpracování textu je: vynikající, velmi dobré, dobré, slabší, nevyhovující.
- Obsahuje text dostatek obrazového materiálu, který pomáhá porozumět textu?
- Vztahují se grafické prvky textu k tématu?
- Jsou ilustrace, tabulky, schémata, mapky a grafy v textu jasné a smysluplné?

HODNOCENÍ ÚLOH

- Je náročnost úloh přiměřená výuce na úrovni střední školy? (vynikající, velmi dobrá, dobrá, slabší, nevyhovující)
- Jsou zadání úloh jednoznačná a srozumitelná?
- Obsahuje text odlišné úlohy z hlediska obtížnosti (pro nadané, průměrné i podprůměrné žáky)?
- Vyžadují úlohy také řešení problémů, objevování, tvořivou činnost, apod.?
- Mohou se úlohy použít ke zkoušení ústnímu, písemnému, do pracovních listů, a jako motivační otázky a úlohy (např. do her a křížovek)?
- Poskytují úlohy dostatek možností k procvičování, upevňování pojmů a opakování učiva?
- Korespondují úlohy s výkladovým textem? Je možné zodpovědět úlohy na základě studia výkladového textu?
- Hodnotíte úlohy jako použitelné pro výuku?

V páté oblasti rozhovoru *Přání, návrhy na zlepšení, dotazy* mají dotazovaní prostor vyjádřit svá přání, připomínky, mohou požádat o bližší vysvětlení částí výkladového textu nebo sady testových otázek nebo se mohou zeptat něco, na co při rozhovoru vůbec nepřišla řeč. Zmíněná oblast rozhovoru obsahuje konkrétně tyto otázky:

- Postrádáte v textu něco významného?
- Máte k textu nějaké závažné připomínky?
- Máte Vy nějaké otázky?

Závěrem je shrnuto celkové hodnocení výkladového textu i sady testových otázek a to jestli dotazovaný text osobně využije. Zmíněná oblast rozhovoru obsahuje konkrétně tyto otázky:

- Využijete učební text ve výuce (vyučovací hodina, seminář, laboratorní cvičení, vlastní příprava, jinak, vůbec), a jaké jeho části to budou?
- Jak využije text ve výuce? (rozdám žákům, pro svou vlastní inspiraci, vytvořím vlastní prezentace, prac. listy apod., jinak)
- Jak celkově hodnotíte učební text a sadu úloh?

8.3 Realizace rozhovorů

Všechny rozhovory byly provedeny v prostředí, které si zvolili dotazovaní. Ani v jednom případě nebyl rozhovor narušen jakýmkoli vnějším vlivem. Všechny rozhovory byly provedeny bez přítomnosti třetí osoby a to buď osobně nebo pomocí videokonference prostřednictvím softwarového komunikačního nástroje *Skype*. Osm dotazovaných upřednostnilo rozhovor pomocí *Skype* pravděpodobně z důvodu flexibilnějšího naplánování termínu rozhovoru a dva dotazovaní dali přednost osobnímu setkání. Tazatel si v průběhu rozhovoru dělal písemné poznámky a v případě videokonference si celý rozhovor nahrál a uložil v digitální podobě pomocí softwarového nástroje *Pamela for Skype*.

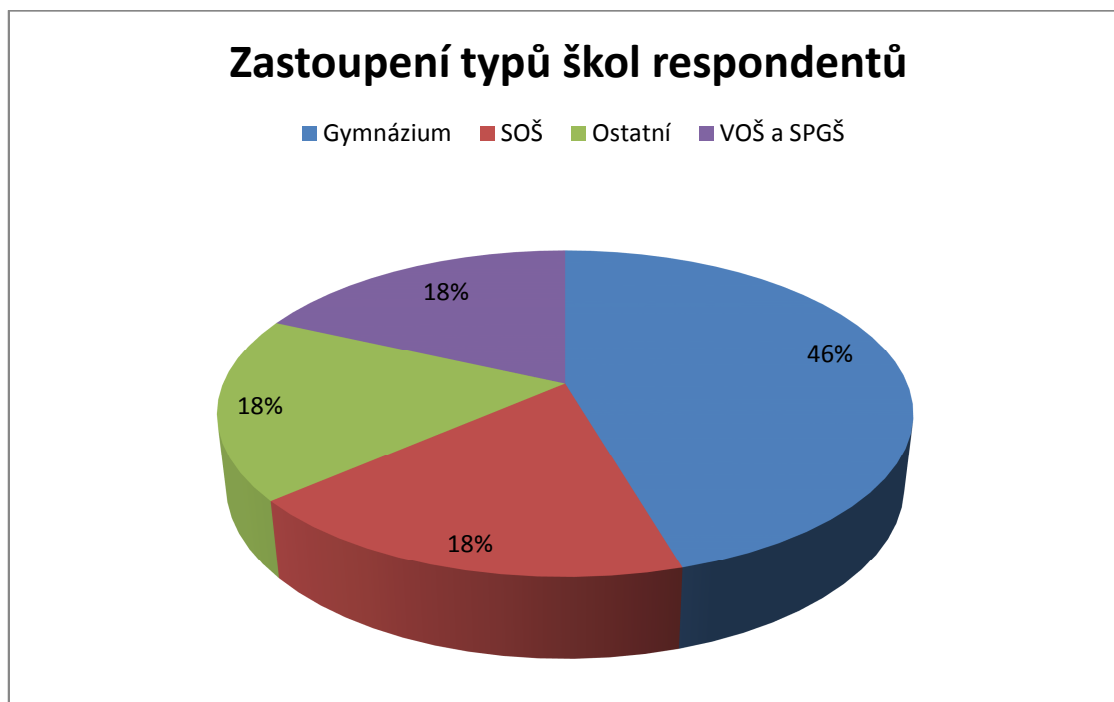
Na každý rozhovor bylo plánováno 30-45 minut, do nichž byl zahrnut i úvod, krátké uvedení do problematiky, tedy čeho se bude rozhovor týkat, a ujištění o diskrétnosti a anonymitě. Navíc bylo zdůrazněno, že rozhovor slouží pouze k účelu disertační práce a nahrávky rozhovorů nebudou přístupny žádné třetí osobě. Rozhovory se zapsanými odpověďmi a poznámkami jsou uvedeny anonymně v digitální podobě na CD, které je přiloženo k této práci jako příloha 5.

8.4 Vyhodnocení rozhovorů

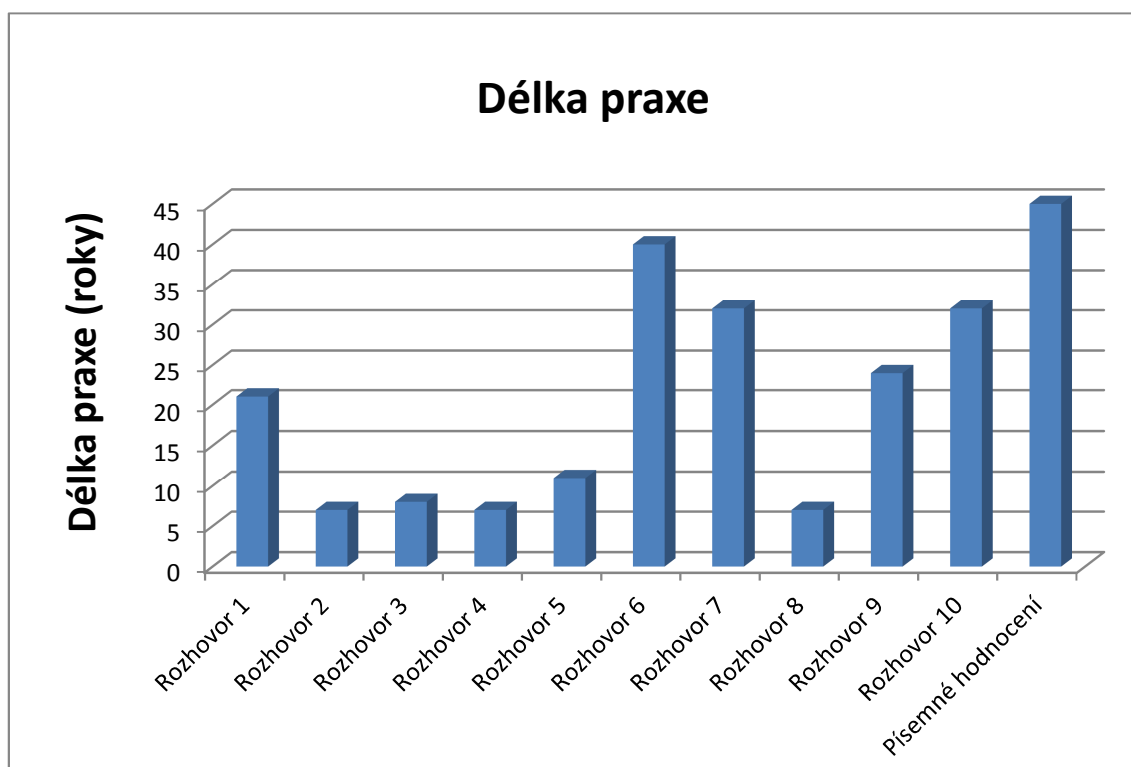
V této kapitole je shrnuto, co vyplynulo z rozhovorů s aprobovanými učiteli chemie na středních školách z různých částí České republiky ohledně připraveného výkladového textu o organokovových sloučeninách a sestavené sady testových úloh o organokovových sloučeninách.

Celkově se na vyhodnocení textů podílelo jedenáct učitelů, z toho bylo sedm mužů a čtyři ženy. Pět respondentů učí na gymnáziích, dva jsou učitelé na vyšší odborné škole a střední pedagogické škole, dva jsou učitelé na střední odborné škole, jeden z respondentů je učitelem na střední průmyslové škole a pedagogickém lyceu a jedna respondentka v současnosti učí na základní škole. Zastoupení typů škol mezi respondenty účastnících se hodnocení textů o organokovových sloučeninách vyjadřuje graf na Obr. 8.1. Všichni respondenti jsou aprobovanými učiteli chemie nebo studovali odborné chemické obory a až na jeden případ se všichni setkali s tématem organokovových sloučenin při studiu na vysoké škole. Délka praxe respondentů se pohybovala od 7 do 45 let a její porovnání je uvedeno v grafu na

Obr. 8.2. Kromě chemie respondenti vyučují fyziku, matematiku, geologii, informační a komunikační techniku, zdravotní nauku, prvouku a německý jazyk. Vyhodnocení první tematické oblasti rozhovorů *Všeobecné informace* a druhé tematické oblasti *Vzdělání a praxe dotazovaného učitele* shrnuje Tabulka 8-1. Jsou v ní výše uvedené informace a navíc údaje o počtu hodin a vyučovaných ročnících respondentů.



Obr. 8.1: Zastoupení typů škol mezi respondenty



Obr. 8.2: Délka praxe respondentů

Tabulka 8-1: Obecné informace a vzdělání respondentů

	Forma školy	Pohlaví	Délka praxe (roky)	Vyučované předměty	Aprobace	Počet hodin chemie týdně	Vyučované ročníky	Organokovy na VŠ
Rozhovor 1	Gymnázium	M	21	Bi, Ch	Bi, Ch	18	vyšší i nižší gymnázium	ANO
Rozhovor 2	SOŠ	M	7	Bi, Ch, geologie	Bi, Ch	19	1.-4.	ANO
Rozhovor 3	ZŠ	Ž	8	Fy, Ch, Prvouka	Fy, Ch	0		ANO
Rozhovor 4	Gymnázium	Ž	7	Bi, Ch	Bi, Ch	16	1.-3.	ANO
Rozhovor 5	SOŠ	M	11	Ch, Fy, Ma, Informatika	Analytická chemie PŘF MU	6	1.	ANO
Rozhovor 6	SPŠ, technické lyceum	M	40	Ch, Fy	Fy, Ch	20	1.-3. lyceum, 1. SPŠ	ANO
Rozhovor 7	Gymnázium	Ž	32	Ch, Ma	Org. Ch VŠCHT	2	sekunda - 4.	ANO
Rozhovor 8	Gymnázium	M	7	Bi, Ch	Ch, Bi	15	sekunda, tercie, kvinta, septima, oktáva	ANO
Rozhovor 9	VOŠ a SPGŠ	Ž	24	Nj, Bi, Ch	Nj, Bi, Ch	5	1.-2.	NE
Rozhovor 10	VOŠ a SPGŠ	M	32	Ch, Bi, zdravotní nauka	Bi, Ch	1	1.-2.	ANO
Písemné hodnocení	Gymnázium	M	45					

V rámci hodnocení třetí tematické oblasti rozhovorů *Výuka a příprava na výuku* se všichni respondenti se shodli na tom, že téma organokovových sloučenin je ve vhodném rozsahu pro výuku na středních školách zajímavé. Odpovědi na to, ve kterém ročníku by respondenti téma organokovových sloučenin zařadili se ale liší a obsahují možnosti vůbec nezařazovat (3 krát), zařadit průběžně v rámci ostatních témat (2 krát) i konkrétní návrhy zařazení do 2. ročníku technického lycea, střední průmyslové školy a vyšší odborné školy nebo do 2. nebo 3. ročníku čtyřletého gymnázia. Jeden z respondentů doplnil komentář, že: „organokovové sloučeniny jsou součástí systému, ale ne jeho středem“ (písemné hodnocení). Několikrát byla zmíněna vazba na možné předcházející téma, konkrétně komplexní sloučeniny, organická chemie, alkoholy a polymery.

Dva respondenti v rozhovoru uvedli, že ŠVP jejich školy zmiňuje organokovové sloučeniny, čtyři respondenti zařazují toto téma do výuky průběžně a pět respondentů se mu při výuce nevěnuje vůbec. Dva z respondentů požadují znalosti o organokovových sloučeninách u maturitní zkoušky, osm respondentů organokovové sloučeniny u maturity nezkouší nebo uvedli, že na jejich škole chemie není maturitním předmětem. Všichni dotazovaní učitelé se shodli na tom, že v rámci tématu organokovových sloučenin je možné procvičit a upevnit základní poznatky ostatních oblastí chemie, kromě jednoho dotazovaného (rozhovor 2), který tvrdí, že organokovové sloučeniny jsou izolované téma na rozhraní anorganické a organické chemie.

Všichni dotázaní učitelé uvedli, že si připravují vlastní materiály pro výuku, až na jednoho, který odpověděl, že za 40 let praxe má již všechny potřebné materiály připravené. Všichni respondenti uvedli, že vycházejí při přípravě z učebnic a materiálů dostupných na internetu a sami si je modifikují. Jeden respondent zdůraznil použití odborných článků. Osm respondentů používá k přípravě zdroje, které téma organokovových sloučenin obsahují, ale jen tři dotazovaní si informace do výuky doplňují. Dvěma respondentům rozsah tématu v používaných zdrojích stačí, čtyři uvedli, že tématu organokovových sloučenin zcela vynechávají a jedna dotazovaná nemůže odpovědět, protože ve škole, kde je v současnosti zaměstnaná se chemie na středoškolské úrovni nevyučuje. Tři respondenti uvedli spokojenost se zpracováním téma organokovových sloučenin v používaných materiálech, dva vyjádřili nespokojenost v tom smyslu, že učebnice obsahují málo informací a žádné zajímavosti (rozhovor 4). Jeden z respondentů (rozhovor 2) uvedl, že vzhledem k porovnání rozsahu s ostatními tématy jsou učebnice se stávajícím zpracováním organokovových sloučenin proporčně vyvážené, ale vzhledem k náplni je se stávajícím zpracováním nespokojený a je ho nutné doplnit.

V odpovědích na otázku, co by měli učební materiály nabízet, uváděli dotazovaní učitelé, že by měli obsahovat zejména příklady z praxe, měli by být komplexním

přehledem a definicí a rozlišením organokovových sloučenin podle druhu kovu, měli by obsahovat zajímavosti, úkoly nebo otázky, výukový text pro žáky nebo učitele a pracovní list popřípadě že by mělo být téma zpracované naučně zábavnou formou.

Tabulka 8-2 a Tabulka 8-3 shrnují informace této oblasti rozhovorů, přičemž kapitálkami jsou uvedené jednoznačné a mezi sebou porovnatelné odpovědi. Běžným písmem jsou uvedeny rozvedené odpovědi nebo komentáře a proškrtnuty jsou buňky, kde respondenti neuvedli odpověď.

Tabulka 8-2: Výsledky hodnocení oblasti rozhovorů Výuka a příprava na výuku

	OK samostatně/ průběžně	OK na SŠ?	Vhodný ročník pro téma organokovové sl.	Zdroje pro přípravu hodiny	Obsahují zdroje OK	Spokojenost se zpracováním v používaných zdrojích
Rozhovor 1	průběžně	ANO	3. roč.	učebnice, internet...	ANO	nevím
Rozhovor 2	průběžně	ANO	částečně 2. roč. (k alkoholům)a 4. roč. (polymery)	učebnice, internet...	ANO	ANO i NE (vzhledem k rozsáhlosti učiva jsou učebnice proporčně vyvážené, jinak nutno rozšířit)
Rozhovor 3	VŮBEC	ANO	průběžně	učebnice, internet...	NE	nemohu posoudit
Rozhovor 4	SAMOSTATNĚ	ANO	NE	učebnice, internet...	ANO	ne, málo informací, bez zajímavostí
Rozhovor 5	VŮBEC	ANO	NE	učebnice, internet, požadavky k přijímačkám	NE	////
Rozhovor 6	průběžně	ANO	2. roč. ke komplexům nebo 3. do organiky	učebnice, již zpracované materiály	ANO	Ano
Rozhovor 7	průběžně	ANO	průběžně	učebnice, internet	ANO	////
Rozhovor 8	SAMOSTATNĚ	ANO	do 2. roč. čtyřletého gymnázia	učebnice	ANO	NE
Rozhovor 9	VŮBEC	NE pro naši školu	vůbec	učebnice, internet - digitálně upravené materiály	NE	nepoužívám žádné materiály
Rozhovor 10	VŮBEC	ANO	2. roč. lycea	učebnice, odborné texty	ANO	ANO
Rozhovor 11	VŮBEC	OK jsou součástí systému, ale ne středem	////		ANO	ANO, dostatek informací

Tabulka 8-3: Výsledky hodnocení oblasti rozhovorů Výuka a příprava na výuku

	Tvorba vlastních materiálů	Organokovy u maturity	Co by měli zdroje mít?	Trénink ostatních oblastí chemie v rámci tématu organokovové sloučeniny
Rozhovor 1	ANO	ANO	Příklady z praxe	ANO
Rozhovor 2	ANO	NE	komplexní přehled (10 stran) obsahující úkoly, otázky, příklady z praxe, např. co znáte z domova ve spojitosti s organokovy	NE (jde o izolované téma na přechodu od anorganické k organické chemii)
Rozhovor 3	ANO	nemohu posoudit	nemohu posoudit	ANO
Rozhovor 4	ANO	NE	definici, rozlišení podle druhu kovu, praktické využití	ANO
Rozhovor 5	ANO	chemie není maturitní předmět	přehled a zajímavosti	ANO
Rozhovor 6	mám za 40 let praxe už všechno připravené	NE	////	ANO
Rozhovor 7	ANO	NE	zejména spojení s praxí	ANO
Rozhovor 8	ANO	ANO	výukový text pro žáky, výklad pro učitele, pracovní list	ANO
Rozhovor 9	ANO	NE	naučně zábavnou formou zpracované téma	ANO
Rozhovor 10	ANO	NE	////	ANO
Rozhovor 11	////	////	////	ANO

Čtvrtá tematická oblast rozhovoru je nejdůležitější a je zaměřena přímo na vlastní *Hodnocení didaktických textů*. V podoblasti otázek týkajících se *přehlednosti textu* všichni respondenti až na jeden případ odpověděli, že připravený výkladový text o organokovových sloučeninách má přehlednou strukturu a je logicky členěný do kapitol. Jediný z respondentů na tuto otázku odpověděl záporně s komentářem, že výklad obsahuje moc textu a nerespektuje moderní trendy ve tvorbě učebních textů (rozhovor 2). Všichni dotazovaní odpověděli, že pojmy výkladu jsou řazeny v logické posloupnosti.

V podoblasti otázek *obtížnost textu a rozsah učiva* všichni respondenti hodnotili srozumitelnost a pochopitelnost textu kladně slovy: vynikající, velmi dobrá, dobrá, srozumitelné. Dotazovaný v rozhovoru 2 okomentoval srozumitelnost jako dobrou pro učitele, ale horší pro žáky a pouze jeden dotazovaný ji označil jako nevyhovující (rozhovor 5). Čtivost výkladového textu všichni hodnotili kladně slovy: velmi dobrá, bez problémů, čtivé, dobrá opět kromě rozhovoru 5, kde zazněla odpověď: nevyhovující.

Obsahovou náročnost dva respondenti hodnotili slovy: optimální a v mezích. Ostatní respondenti ji hodnotili jako příliš náročnou nebo poměrně náročnou a doplňovali komentáře, že z hlediska rozsahu není text vhodný pro typ jejich školy, ale spíše pro vysokoškolskou úroveň vzdělání. Přesto ale osm respondentů uvedlo, že je možné z výkladového textu vybrat kapitoly k zařazení do výuky, a tři respondenti odpověděli na tuto otázku záporně. Jako vhodné zařazení do výuky uváděli respondenti zejména semináře a přípravu ke studiu na vysoké škole. Tři respondenti uvedli možné zařazení i do běžné výuky, ale pouze v omezené míře a jeden z nich uvedl jako příklady k zařazení do výuky názvosloví organokovových sloučenin a kovalentní organokovové sloučeniny.

Výběr a počet pojmů jako přiměřený ohodnotili dva z respondentů. Ostatní v odpovědi na tuto otázku uváděli slova: příliš obsáhlé, vysoká frekvence pojmů, příliš nadsazené, žáci by všechny pojmy nezvládli. Jedna respondentka (rozhovor 4) komentovala odpověď tak, že výkladový text obsahuje hodně pojmů, ale jsou hezky vysvětlené. Všichni dotazovaní se shodli v tom, že výkladový text je vztažený k praxi. Pouze jeden z nich (rozhovor 5) uvedl, že to platí jen částečně a dva další doplnili komentář, že vztah k praxi je ale zastíněn akademickými poznatky (rozhovor 8) a že vztah k praxi je patrný jen pro chemiky (rozhovor 9). Naopak dva respondenti vztah textu k praxi vyzdvihli s tím, že to je to, co se jim na výkladu líbilo (rozhovory 1 a 3).

Propojenost tématu s ostatními vyučovacími předměty kladně hodnotilo osm respondentů, jeden uvedl, že téma je propojené s jinými vyučovacími předměty jen částečně (rozhovor 5) a jeden respondent uvedl, že téma s ostatními předměty propojené není (rozhovor 6). Propojenost tématu organokovových sloučenin

s dalšími tématy výuky chemie všichni respondenti hodnotili kladně, popřípadě přidali slovo dostatečně.

Výsledky hodnocení podoblastí Přehlednost textu a Obtížnost textu a rozsah učiva shrnují a přehledně zobrazují Tabulka 8-4, Tabulka 8-5 a Tabulka 8-6, kde jsou jednoznačné a porovnatelné odpovědi uvedeny kapitálkami a obsáhlejší odpovědi a komentáře jsou uvedené běžným písmem.

Tabulka 8-4: Výsledky hodnocení obtížnosti a rozsahové náročnosti výkladového textu

	Přehledná struktura	Logická posloupnost pojmů	Srozumitelnost a pochopitelnost výkladu	Čtivost textu
Rozhovor 1	ANO	ANO	ANO DOBRÁ	VELMI DOBRÁ
Rozhovor 2	NE - moc textu, nerespektuje moderní trendy	ANO	dobrá pro chemika, horší pro žáky	VELMI DOBRÁ (dobré zajímavosti a vysvětlení pojmů v bočním sloupci)
Rozhovor 3	ANO	ANO	ANO, VELMI DOBRÁ	BEZ PROBLÉMŮ
Rozhovor 4	ANO	ANO	ANO, SROZUMITELNÉ	ANO, ČTIVÉ
Rozhovor 5	ANO	ANO	NEVYHOVUJÍCÍ	NEVYHOVUJÍCÍ
Rozhovor 6	ANO, líbí se mi	ANO	ANO, VELMI DOBRÁ	DOBRÁ
Rozhovor 7	ANO	ANO	ANO	ANO, ČTIVÉ
Rozhovor 8	ANO	ANO	DOBRÁ	DOBRÁ
Rozhovor 9	ANO, skvělé	ANO	VYNIKAJÍCÍ	VYNIKAJÍCÍ
Rozhovor 10	ANO	ANO	ANO	DOBRÁ
Rozhovor 11	ANO	ANO	ANO	ANO, ČTIVÉ

Tabulka 8-5: Výsledky hodnocení obtížnosti a rozsahové náročnosti výkladového textu

	Obsahová náročnost	Vhodné zařazení	Lze vybrat kapitoly do výuky	Přiměřenost výběru a počtu pojmů	Vztah k praxi	Propojení s ostatními předměty	Propojení s ostatními oblastmi chemie
Rozhovor 1	v mezích - ANO	do seminářů	ANO	vysoká frekvence pojmů	ANO	ANO	ANO
Rozhovor 2	PŘÍLIŠ NÁROČNÝ (neodpovídá skutečné úrovni žáků SŠ)	do výuky (názvosloví, kovalentní organokovové sl.), seminář (některá témata v menším rozsahu)	ANO	příliš nadsazené	ANO	ANO	ANO, DOSTATEČNĚ
Rozhovor 3	Docela náročné (ale porovnávám se ZŠ, kde v současnosti učím)	výuka, semináře, příprava na VŠ	ANO	nemohu posoudit	ANO (líbilo se mi to)	ANO	ANO, DOSTATEČNĚ
Rozhovor 4	náročné (děti nezvládají číst ani ZŠ učebnice)	do semináře	ANO	hodně pojmů, ale jsou hezky vysvětlené	ANO	ANO	ANO
Rozhovor 5	PŘÍLIŠ NÁROČNÝ (úroveň VŠ skript)	do semináře a přípravy na VŠ	NE	NE	ČÁSTEČNĚ	ČÁSTEČNĚ	ANO, DOSTATEČNĚ
Rozhovor 6	OPTIMÁLNÍ	do semináře k přípravě na VŠ	ANO	ANO	ANO	asi ne	ANO
Rozhovor 7	pro žáky příliš náročný	do semináře	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO, DOSTATEČNĚ
Rozhovor 8	poměrně náročný	malá část do výuky, do seminářů se hodí všechny	ANO, ale většinu do semináře	příliš obsáhlý	ANO, ale akademické poznatky často překrývají praktické uplatnění	ANO	ANO, DOSTATEČNĚ

Tabulka 8-6: Výsledky hodnocení obtížnosti a rozsahové náročnosti výkladového textu – pokračování tabulky 8-5

	Obsahová náročnost	Vhodné zařazení	Lze vybrat kapitoly do výuky	Přiměřenost výběru a počtu pojmů	Vztah k praxi	Propojení s ostatními předměty	Propojení s ostatními oblastmi chemie
Rozhovor 9	příliš náročný	do semináře k přípravě na VŠ	NE u nás na škole	příliš obsáhlý pro naše žáky	ANO ale jen pro chemiky	ANO	ANO, DOSTATEČNĚ
Rozhovor 10	náročný pro žáky SPGŠ	do semináře k přípravě na VŠ	ANO	nezvládli by	ANO	ANO	ANO
Rozhovor 11	příliš rozsáhlé, vhodné pro VŠ	omezeně do semináře	NE				

V podoblasti rozhovoru *Grafické zpracování* uvedli respondenti, že grafické zpracování textu je vynikající, velmi dobré, dobré nebo, že se líbí. Osm respondentů uvedlo, že text obsahuje dostatek obrazového materiálu, ale dva respondenti uvedli komentáře, že neobsahuje nebo spíše neobsahuje dostatek grafického materiálu a že by text měl obsahovat více poutavých obrázků (rozhovor 1). V rozhovoru 2 zazněl komentář, že v moderních výukových textech obrázky skoro převažují nad textem. Na otázku, jestli se obrázky vztahují k tématu, odpověděli všichni respondenti kladně a stejně tak odpověděli na otázku, jestli jsou ilustrace a schémata smysluplná. Výsledky hodnocení Grafického zpracování shrnuje Tabulka 8-7.

Tabulka 8-7: Grafické zpracování

	Grafické zpracování	Dostatek obrázků	Vztahují se obrázky k textu	Smysluplné obrázky
Rozhovor 1	obsahuje málo poutavých obrázků	ANO	ANO	ANO
Rozhovor 2	slabší, v moderních učebnicích obrázky skoro převažují nad textem	SPÍŠE ANO	ANO	ANO
Rozhovor 3	VELMI DOBRÉ	ANO	ANO	ANO
Rozhovor 4	líbí se mi	ANO	ANO	ANO
Rozhovor 5	DOBRÉ	NE	ANO	ANO
Rozhovor 6	DOBRÉ	spíše NE	ANO	ANO
Rozhovor 7	DOBRÉ	ANO	ANO	ANO
Rozhovor 8	VELMI DOBRÉ	ANO	ANO	ANO
Rozhovor 9	VYNIKAJÍCÍ	ANO	ANO	ANO
Rozhovor 10	DOBRÉ	ANO	ANO	ANO

V podoblasti otázek zabývajících se *Hodnocením testových úloh* odpověděli čtyři respondenti na otázku přiměřené náročnosti úloh pro úroveň středních škol, že jsou úlohy přiměřené, vyhovující, velmi dobré a dobré, přičemž jedna respondentka dodala, že si nikdo nemůže stěžovat na přehnanou náročnost, protože některé úlohy jsou až primitivně lehké. Naopak čtyři respondenti označili úlohy jako příliš náročné. V písemném hodnocení byla sada testových otázek

označena doslova jako vlídnější než studijní text a v rozhovoru 3 respondentka uvedla, že přiměřenost úloh nedokáže posoudit. Osm respondentů označilo zadání úloh za jednoznačná a srozumitelná, zatímco jeden komentoval zadání úloh jako srozumitelné pro učitele, ale ne pro žáky a jeden označil zadání úloh testující reaktivitu za relativní. Šest respondentů si myslí, že sada otázek obsahuje různě obtížné úlohy, přičemž jedna respondentka doplnila komentář, že rozložení obtížnosti úloh je dokonalé (rozhovor 4) a jeden respondent si myslí, že úloh pro nadané žáky je více než úloh pro průměrné a slabší žáky (rozhovor 2). Jeden respondent si myslí, že se úlohy v obtížnosti neliší (rozhovor 5) a dva respondenti nedokázali na tuto otázku odpovědět. Všichni respondenti si myslí, že alespoň některé úlohy vyžadují k zodpovězení nejen reprodukci učiva, ale i řešení problémů a tvořivou činnost. S výjimkou jednoho (rozhovor 2) si všichni respondenti myslí, že se úlohy dají použít i jinak než k písemnému testování a v komentářích uvedli např. do pracovních listů nebo za domácí úkol. Dále se všichni dotazovaní shodli na tom, že úlohy korespondují s výkladovým textem a že se dají použít k procvičování a opakováním. Osm respondentů odpovědělo, že se dají úlohy použít ve výuce, ale z toho dva doplnili, že na jiné škole, a jeden respondent vyzdvihl seminář. Dva respondenti si myslí, že se úlohy ve výuce použít nedají a jeden uvedl, že pouze omezeně. Výsledky hodnocení testových úloh přehledně shrnují Tabulka 8-8 a Tabulka 8-9.

Tabulka 8-8: Hodnocení testových úloh

	Přiměřená náročnost úloh	Srozumitelné zadání úloh	Různě obtížné úlohy	Nejen znalostní úlohy	Použití úloh k procvičování a opakování	Jiné možnosti použití úloh (ústní, hry...)	Korespondují úlohy s textem	Lze použít úlohy při výuce
Rozhovor 1		ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	do semináře
Rozhovor 2	NE pro studenty SOŠ těžké	NE (některé jsou relativní - reaktivita)	ANO (pro nadané je jich více)	ANO	více než je prostor	omezeně, ne do výuky	ANO	omezeně
Rozhovor 3	nemohu posoudit	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO (i do prac. listů)	ANO	ANO (při výkladu i opakování)
Rozhovor 4	ANO	ANO	ANO (dokonalé rozvrstvení obtížnosti)	ANO	ANO	ANO (SEMINÁŘ, DOMÁCÍ ÚKOLY)	ANO	ANO
Rozhovor 5	NE	pro učitele ano, pro žáky ne	NE	ČÁSTEČNĚ	ANO	ANO	ANO	NE
Rozhovor 6	DOBRÁ	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO, URČITĚ
Rozhovor 7	VELMI DOBRÁ někt. úlohy jsou až primitivní	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Rozhovor 8	VYHOVUJÍCÍ	ANO	ANO	některé	ANO	ANO	ANO	ANO
Rozhovor 9	příliš náročné pro naši školu	ANO	nedokáži posoudit	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO, ale ne u nás na škole

Tabulka 8-9: Hodnocení testových úloh – pokračování tabulky 8-8

	Přiměřená náročnost úloh	Srozumitelné zadání úloh	Různě obtížné úlohy	Nejen znalostní úlohy	Použití úloh k procvičování a opakování	Jiné možnosti použití úloh (ústní, hry...)	Korespondují úlohy s textem	Lze použít úlohy při výuce
Rozhovor 10	příliš náročné pro SPGŠ	ANO	nedokáží posoudit	ANO		ANO	ANO	ANO, ale ne u nás na škole
Rozhovor 11	úlohy jsou vlídnější než studijní text							do běžné hodiny ne, v semináři dostává přednost biochemie a analytika

V oblasti rozhovoru *Přání, návrhy na zlepšení, dotazy* nikdo z dotazovaných nevznesl žádnou další otázku. Mezi připomínkami byly dvě (rozhovory 2 a 8), které uváděli, že text je někdy příliš akademický a že je nutná redukce rozsahu, popřípadě vyznačení základního a rozšiřujícího učiva. Dále připomínka uvádí, že by bylo potřeba k výuce organokovových sloučenin více motivovat učitele - např. pokusy a také, že by bylo vhodné předložit text žákům a zjistit jejich pohled na věc.

Šest respondentů odpovědělo, že v textu nic nepostrádají a mezi čtyřmi rozvedenými odpověďmi respondenti uvedli, že by v textu mohlo být více poutavých obrázků, barevně zvýrazněné pojmy v bočním sloupci, sumář, rejstřík pojmů nebo klíčová slova popřípadě, že by bylo vhodné se ještě více zaměřit na praktické využití.

V závěru byly položeny respondentům otázky, jestli a jak text využijí. Šest z nich uvedlo, že ano a jako možné způsoby uváděli použití vybraných kapitol do běžné hodiny, semináře, zájmového kroužku, k vlastní přípravě, do prezentací a pracovních listů.

Celkově respondenti text hodnotili jako velmi dobrý, dobrý, odpovědně, svědomitě a důsledně vypracovaný, objevný, zajímavý a to i pro učitele, poutavý, ale příliš rozsáhlý. Jeden respondent uvedl, že text je vhodný pro vysokou školu, ale ne pro školu střední (rozhovor 5), další odpověděli, že se jim text líbí nebo že jej hodnotí známkami 1 až 2. Závěry hodnocení výkladového textu a úloh k tématu organokovové sloučeniny byly využity ke konečné úpravě obou textů, která je popsána v kap. 9.

9 Diskuse

Přestože, že se v dotazníkovém šetření i v hodnocení didaktických textů většina respondentů shodla na tom, že jsou organokovové sloučeniny zajímavým tématem pro výuku na středních školách, kontrastem k tomu je způsob a omezený rozsah jak se k tomuto tématu ve výuce přistupuje. Ve výuce bývá toto téma omezeno na minimum nebo vynecháno zcela. Tomuto stavu odpovídá i stav zpracování tohoto tématu v učebnicích, který byl podrobně analyzován, a jeho výsledky jsou uvedené v kap. 3.

Častokrát jsem se v průběhu vypracovávání této práce setkal s názorem, že toto téma je velmi obtížné nebo přímo příliš obtížné. Jsem si jistý, že jiná témata anorganické, organické i dalších oblastí chemie jsou ve své plné šíři na úrovni vědeckého poznání také velmi obtížná jak z hlediska počtu pojmů, tak z hlediska obtížnosti pochopení jejich chemických principů. Přesto se těmto oblastem v chemii učitelé věnují a to tak, že se jejich rozsah ve výuce s organokovovými sloučeninami nedá srovnávat. Úlohou didaktiky je zjednodušit a přiblížit dané téma z roviny vědeckých poznatků na úroveň určitého stupně vzdělávání. V oblastech anorganické, organické chemie a dalších toto přiblížení bylo již provedeno a didaktika jej neustále zdokonaluje a aktualizuje. Není skutečným důvodem toho, že se organokovovým sloučeninám učitelé ve výuce nevěnují to, že uvedené zjednodušení a přiblížení tohoto tématu nebylo zatím provedeno?

Z hodnocení vyplývá, že výkladový text obsahuje mnoho pojmů. Podobně např. základy biochemie stojí na osvojení velkého počtu pojmů a přesto chemie na středních školách k základům biochemie a přírodním látkám směřuje. Výhodou organokovových sloučenin je, že pojmy, které téma obsahuje, jsou na sobě často nezávislé a učitel má volbu vybrat si z výkladového textu kapitoly nebo části, které bude chtít při výuce použít. Tato práce představuje téma organokovových sloučenin zpracované a zjednodušené v celé své šíři a nepředpokládá se, že by se měl výkladový text zařadit do výuky jako celek, ale naopak se předpokládá, že další krok ve zjednodušení tématu udělají sami učitelé tím, že si vyberou vhodné kapitoly pro svůj typ školy a časovou dotaci svých hodin. V tomto ohledu by výstupy této práce měly učitelům podstatně ulehčit práci, protože se nebudou muset probírat obsáhlými vědeckými publikacemi a prezentacemi, často psanými v angličtině, ale mají ve výkladovém textu přehledně shrnuto, a jak vyplývá z hodnocení, dobře vysvětleno to nejdůležitější z celého tématu zhruba na padesáti stránkách.

Pokud jde o obtížnost myšlenkových operací potřebných k vysvětlení principů v tématu organokovových sloučenin, i v tomto ohledu si myslím, že se do výuky na středních školách standardně zařazuje obtížnější učivo. Např. průběh energie aktivovaného a neaktivovaného komplexu v rámci chemické katalýzy je náročný na abstraktní myšlení nebo struktura vláken polysacharidů a nukleových kyselin jsou

náročné na prostorovou představivost. Z hlediska náročnosti myšlenkových operací jsou z tématu organokovových sloučenin nejnáročnější pravděpodobně princip β -eliminace, princip metateze a princip zpětné π -donace, viz kap. 6.4.

Je pravda, že pro výklad organokovových sloučenin je nezbytný základ z určitých oblastí obecné, anorganické a organické chemie. Do výkladového textu byly ale záměrně zařazeny takové příklady ligandů, se kterými se žáci setkají v organické chemii. Nad rámec běžně probíraného učiva obecné a anorganické chemie bylo do výkladového textu zařazeno pouze vysvětlení zpětné π -donace. Jinak obsahuje výkladový text principy a fakta zmiňované v obecné chemii jako jsou atomové orbitály, chemická vazba nebo z anorganické chemie komplexní sloučeniny a přechodné kovy. Tímto se téma organokovových sloučenin stává příležitostí, jak je na vysoce aktuální a zajímavé problematice možné zopakovat a upevnit předchozí probrané učivo.

Dva z hodnotících učitelů uvedli obsahovou náročnost jako optimální a v mezích tzn. přiměřenou, viz kap. 8.4. Byli to učitelé gymnázia a střední průmyslové školy a technického lycea. Jiní učitelé gymnázií popřípadě střední odborné školy ohodnotili text jako poměrně náročný. Důvodem rozdílných odpovědí by mohla být rozdílná úroveň výuky chemie a různá časová dotace hodin chemie. Vyplývá z toho ale to, že organokovové sloučeniny a výkladový text v kap. 6 nejsou pro střední školy přes příliš náročné a bez možnosti využití a zařazení do výuky. V hodnocení pro takové školy jako jsou střední pedagogická škola, jejíž absolventky jsou učitelky v mateřských školách a mají jednu hodinu chemie týdně pouze v prvním ročníku, se pak logicky objevují komentáře, že zmíněný text je příliš náročný a jejich žáci by jej nezvládli.

V písemném hodnocení v kap. 8.4 se objevil komentář od zkušeného učitele na gymnáziu, že přednost před organokovovými sloučeninami ve výuce dostává biochemie popřípadě analytická chemie. Důvodem tohoto upřednostňování je to, že absolventi gymnázií se často hlásí na studium medicíny a upotřebí tedy spíše biochemii. Z tohoto hlediska se jeví organokovové sloučeniny ideální k zařazení do výuky na středních odborných nebo průmyslových školách, jejich absolventi hledají uplatnění spíše v průmyslu a ve výrobě.

Na organokovové sloučeniny úzce navazuje téma chemické katalýzy a původně bylo zamýšleno věnovat se oběma tématům společně v rámci této práce. Od tématu chemické katalýzy bylo ale upuštěno, protože by rozsah takové práce byl daleko za hranicí požadavků na zpracování disertační práce. Chemická katalýza by pak také bylo téma ideální pro zařazení na středních průmyslových a odborných školách a zůstává námětem na další práci.

Jak bylo potvrzeno vyhodnocením v kap. 8.4, výstupem této disertační práce je zajímavý, pro výuku a učitele použitelný výkladový text a to z hlediska všech důležitých kritérií, která má takový text splňovat, jako jsou: přehlednost,

srozumitelnost a pochopitelnost, zaměření na praxi, propojení s ostatními disciplínami, grafického zpracování a jiných. Po zhodnocení výkladového textu učiteli byla náplň znovu revidována a poslední úpravou, která vznikla na základě připomínek z vyhodnocení, bylo vytvoření rámečku s klíčovými slovy na začátku každé kapitoly výkladového textu, což je prvek, který celý text ještě více zpřehlední.

Ještě kladněji než výkladový text, doslova jako *vlídnější*, byly hodnoceny testové úlohy k tématu organokovových sloučenin. Přesto se ale také v hodnocení jejich obtížnosti odráží různý rozsah a hloubka výuky chemie na školách, přičemž pro střední pedagogickou školu byly otázky logicky příliš obtížné, střední odborné školy a střední průmyslová škola je hodnotily jako náročné, ale gymnázia je hodnotila jako vyhovující.

Podrobnější průzkum možností výuky organokovových sloučenin na středních školách různých typů je námětem k další práci, protože svým rozsahem přesahuje zadání této disertační práce. Bylo by v ní možné prozkoumat pevnost základů nutných pro výuku organokovových sloučenin, navrhnout typy škol, ve kterých by bylo organokovové sloučeniny možné vyučovat, navrhnout vhodný rozsah a ročník a získat zpětnou vazbu od více učitelů na vhodných typech škol, což se v rámci této práce ukázalo jako velmi obtížný úkol.

Organokovové sloučeniny jsou téma velmi aktuální, výzvou je ale najít pro něj více adresátů a odběratelů a cituji komentář z rozhovoru 2: *„Chtělo by to udělat organokovům větší reklamu.“*

10 Závěr

Hlavním cílem disertační práce Organokovové sloučeniny ve výuce chemie bylo prozkoumat možnosti zařazení tématu organokovových sloučenin do výuky na středních školách a vytvořit didaktický text, ze kterého by učitelé mohli při výuce tohoto tématu vycházet. Tento cíl se podařilo splnit naplněním dílčích cílů stanovených v úvodu této práce a jejích kapitol.

První kapitola této práce popisuje problematiku organokovových sloučenin v chronologickém sledu a uvádí historicky významné milníky v tomto oboru chemie. Druhá kapitola analyzuje z hlediska obsahu tématu organokovových sloučenin určující kurikulární dokumenty a to zejména rámcové a školní vzdělávací programy. Ve třetí kapitole této práce jsou z hlediska výuky organokovových sloučenin podrobeny analýze dostupné středoškolské učebnice chemie. V rámci čtvrté kapitoly je provedeno dotazníkové šetření mezi učiteli chemie s cílem odhalit, jestli mají učitelé zájem o nové zpracování tématu organokovových sloučenin. Pátá kapitola sumarizuje výsledky a závěry provedených analýz a uvádí, že téma organokovových sloučenin je aktuální a má smysl věnovat se tématu organokovových sloučenin ve výuce. Šestá kapitola, která je nejrozsáhlejší kapitolou této práce, obsahuje vlastní nově vytvořený výkladový text o organokovových sloučeninách. V tomto textu jsou organokovové sloučeniny rozděleny do čtyř podkapitol: Úvod k organokovovým sloučeninám, Iontové organokovové sloučeniny, Kovalentní organokovové sloučeniny a Organokovové sloučeniny přechodných kovů. Z odborných monografií byly do výkladového textu vybrány nejvýznamnější pojmy a příklady důležitých sloučenin. Důraz byl kladen na začlenění příkladů s praktickým významem. Ve výkladovém textu jsou zmíněny principy chemických dějů a výrob s významným dopadem na styl a úroveň života. Sedmá kapitola této práce obsahuje sadu testových úloh k tématu organokovových sloučenin. Tyto úlohy jsou svou obtížností navrženy pro úroveň středních škol a je na ně možné odpovědět na základě výkladového textu uvedeného v předchozí kapitole. Osmá, poslední, kapitola této práce obsahuje zpětnou vazbu od učitelů, se kterými byly metodou osobního rozhovoru zhodnoceny jak výkladový text, tak i testové úlohy k tématu organokovových sloučenin.

11 Citovaná literatura

aaa-science.cz. 2011. www.aaa-science.cz. *Přírodní vědy a matematika na středních školách v Praze: aktivně, aktuálně a s aplikacemi.* [Online] 2011. <http://aaa-science.webnode.cz/vzdelavaci-moduly>.

Astruc, D. 2007. *Organometallic Chemistry and Catalysis.* Berlin : Springer, 2007.

Babinský, M. 2016. *Didaktické testy v e-learningu a ich vyhodnotenie.* Bratislava : autor neznámý, 2016.

Banýr, J. a Beneš, P. 1995. *Chemie pro střední školy.* Praha : SPN, 1995. 80-85937-46-8.

Banýr, J. 1992. *Komplexní analýza učebnic chemie, Habilitační práce.* Praha : Pedagogická fakulta UK, 1992.

Bernal, A. M. 2014. Ferrocene sublimation. *Campus of International Excellence.* [Online] 2014. <http://www.campusmoncloa.es/en/media/gallery/materialsweek-2014/ferrocene-sublimation/541/>.

Bílek, M. a Rychtera, J. 2000. *Chemie na každém kroku.* Praha : Moby Dick, 2000. 61302.

Bílek, M. a Jeřábek, O. 2010. *Teorie a praxe tvorby didaktických testů.* Olomouc : autor neznámý, 2010. 978-80-244-2494-1.

Carey, F. A. 2008. *Organic Chemistry.* New York : autor neznámý, 2008. 978-0-07-304787-4.

Cetlová, Z. 2006. *Tvorba databáze otázek pro testování znalostí středoškolské chemie.* Brno : Muni, 2006.

Crabtree, R. H. 2005. *Organometallic Chemistry of the Transition Metals 4th edition.* New Jersey : John Wiley & Sons, 2005.

Cvachová, A. 2006. Lewisit. *Toxicology.cz.* [Online] 2006. <http://toxicology.cz/modules.php?name=News&file=article&sid=32>.

Čapoun, T. 2015. Ochrana obyvatelstva. *Fakulta tělesné výchovy a sportu univerzita Karlova.* [Online] 2015.

Čermák, J. 2014. Organická chemie II. *Přírodovědecká fakulta univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem Katedra chemie.* [Online] 2014. chemistry.ujep.cz/userfiles/files/Organicka_chemie_Nmgr_upr.pdf.

Červinka, O. 1982. *Organická chemie.* Praha : SNTL, 1982.

Čtrnáctová, H. a Kroutil, J. 2001. *Sbírka úloh pro společnou část maturitní zkoušky.* Praha : Tauris, 2001. 80-211-0392-2.

Čtrnáctová, H. 1982. *Výběr a strukturace učiva chemie.* Praha : SPN, 1982.

- Demel, J., Čejka, J. a Štěpnička, P. 2008.** Palladiové nanočástice v katalýze spojovacích reakcí. *Chemické listy* 103. 2008.
- Doudlík, P. a Škoda, J.** Zásady správné tvorby, použití a hodnocení didaktických testů v přípravě budoucích učitelů. *Cvičebnice obecné didaktiky*. [Online] www.pf.ujep.cz/obecnadidaktika/pdf/Didakticke_testy.pdf.
- Dvořák, D. 1993.** *Chemie organokovových sloučenin přechodných kovů*. Praha : VŠCHT, 1993.
- Eisner, W., Amman, W. a kol. 2000.** *Chemie pro střední školy*. místo neznámé : Sciencia, 2000.
- Elsenbroich, C. a Salzer, A. 1992.** *Organometallics 2nd ed*. New York : VCH Publishers, 1992.
- Fendrychová, A. 2010.** *Nové materiály na podporu výuky Biochemie na SŠ, Proteiny*. Praha : Univerzita Karlova, 2010.
- Friedl, Z. 2015.** Organická chemie I. *Vysoké učení technické v Brně*. [Online] 2015. www.fch.vut.cz/ictep/studijni_materialy/Organicka_chemie_1.../06%20Alkeny.pdf.
- Greenwood, N., N. a Earnshaw, A. 1998.** *Chemistry of the elements*. Leeds : Butterworth-Heinemann, 1998. 0-7506-3365-4.
- Haiduc, I. a Zuckerman, J., J. 1985.** *Basic Organometallic Chemistry*. Berlin : Walter de Gruyter, 1985. 0-89925-006-8.
- Halbich, J. 1985.** *Základy didaktiky organické chemie II*. Praha : Univerzita Karlova, 1985.
- Held, L. 2011.** *Konfrontácia koncepcí prírodovedného vzdelávania v Európe*. místo neznámé : Sciencia in educatione, 2011. 1804–7106.
- Hisatome, M., a další. 1986.** 108. *J. Am. Chem. Soc.* 1986, str. 1333.
- Housecroft, C., E. a Sharpe, A., G. 2014.** *Anorganická chemie*. Praha : VŠCHT, 2014. 978-80-7080-872-6.
- Housecroft, C., E. a Sharpe, A., G. 2005.** *Inorganic chemistry*. Edinburgh : Harlow, 2005. 01 30-399 13-2.
- Chemicool. 2015.** Tellurium Element Facts. *Chemicool*. [Online] 2015. <http://www.chemicool.com/elements/tellurium.html>.
- Chráška, M. 1999.** *Didaktické testy*. Brno : Paido, 1999.
- Katritzky, A., Meth-Cohn, O. a Rees, W., C. 1995.** *Comprehensive Organic Functional Group Transformations*. Oxford : Elsevier Science Ltd., 1995.
- Kedrová, K. 2016.** Nearomatické uhlovodíky. *mojechemie.cz*. [Online] 2016. http://www.mojechemie.cz/Organick%C3%A1_Chemie:Nearomatick%C3%A9_uhlovod%C3%A1ky.

- Klečka, M. 2011.** *Teorie a praxe tvorby učebnic chemie pro střední školy (Disertační práce).* Praha : Univerzita Karlova, 2011.
- Kolář, K. a kol. 2005.** *Chemie organická a biochemie.* Praha : SPN, 2005. 80-7235-283-0.
- Kozak, C. 2015.** Memorial university. *Chemistry 6210/4203: Organometallic chemistry.* [Online] 2015. www.chem.mun.ca/homes/.../Chemistry%206210%20Outline.pdf.
- Lederer, J. 2015.** Silikonové polymery. *Katedra chemie Přírodovědecká fakulta J. E. Purkyně v Ústí nad Labem.* [Online] 2015. chemistry.ujep.cz/userfiles/files/SILIKONY_.pdf.
- Liška, F. 2007.** *Konstituce, konformace, konfigurace v názvech organických sloučenin. 1st ed.* Praha : VŠCHT Praha, 2007.
- Mahjerová, J. 2016.** Revidovaná Bloomova taxonómia a kompetencie pre používanie IKT. [Online] 2016. www.pdf.umb.sk/~lrovnanova/taxonomia_ciele_Anderson.pdf.
- Mareček, A. a Honza J. 1998.** *Chemie pro čtyřletá gymnázia.* Olomouc : Nakladatelství Olomouc, 1998. 80-7182-055-5.
- Matoušková, Š. 2012.** *Vzdělávání v anorganické chemii v kontextu života současného člověka.* Praha : Přírodovědecká fakulta UK, 2012.
- McMurry, J. 2007.** *Organická chemie.* Praha : VŠCHT, 2007. 978-80-7080.
- Mehrotra, R., C. a Singh, A. 1991.** *Organometallic Chemistry.* New Delhi : New Age International Ltd., 1991.
- Monreal, A. 2014.** Campus Moncloa. [Online] 2014. <http://www.campusmoncloa.es/en/media/gallery/materialsweek-2014/ferrocene-sublimation/541/>.
- MŠMT. 2011.** Rámcové vzdělávací programy. *MŠMT.* [Online] 9.. 3. 2011. www.msmt.cz/skolskareforma/ramcove-vzdelavaci-programy.
- 2011.** Nová maturita oficiálně. *Nová maturita oficiálně.* [Online] 9.. 3. 2011. www.novamaturita.cz/katalogy-pozadavku-1404033138.html.
- NÚOV. 2011.** Rámcové vzdělávací programy. *Národní ústav odborného vzdělávání.* [Online] 9.. 3. 2011. www.nuov.cz/ramcove-vzdelavaci-programy.
- Omae, I. 1998.** *Applications of Organometallic Compounds.* Chichester : John Wiley and Sons Ltd., 1998.
- Oxosloučeniny. 2015.** Aldehydy a ketony. *Technická univerzita v Liberci.* [Online] 2015. www.kch.tul.cz/sites/default/files/texty/fp/och/10-aldehydy_a_ketony.pdf.
- Pacák, J. a Čípera, J. 1985.** *Chemie pro II. ročník gymnázií.* Praha : SPN, 1985.
- Pacák, J. 1997.** *Jak porozumět organické chemii.* Praha : Karolinum, 1997. 80-7184-261-3.

- Pešková, V. 2008.** *Speciace cínu ve vzorcích životního prostředí*. Brno : Masarykova univerzita v Brně, 2008.
- Petty, G. 2002.** *Moderní vyučování*. Praha : Portál, 2002.
- Pitschman, V. 1998.** Jednoduché stanovení lewisitu. *Chemické listy*. 1998.
- Pohlavní-choroby.cz. 2015.** Syfilis. *Pohlavní choroby*. [Online] 2015. <http://www.pohlavni-choroby.cz/syfilis>.
- propeople.cz. 2015.** Syfilis. *Pohlavní nemoci*. [Online] 2015. <http://www.pohlavni-nemoci-a-jejich-priznaky.cz/syfilis-prijice-lues>.
- Průcha, J. 1984.** *Hodnocení obtížnosti učebnic - Struktury a parametry učiva*. Praha : VÚOŠ, 1984.
- . **2002.** *Moderní pedagogika*. Praha : Portál, 2002.
- . **1989.** *Teorie, tvorba a hodnocení učebnic chemie*. Praha : ÚÚVPP, 1989.
- Průcha, J., Walterová, E. a Mareš, J. 2003.** *Pedagogický slovník*. Praha : Portál, 2003.
- Pruchnik, F. 1990.** *Organometallic chemistry of the transition elements*. Wroclaw : Springer Science + Business Media LLC, 1990. 978-1-48992076-8.
- Roštejnská, M.** Biochemie. *Studium chemie*. [Online] http://www.studiumchemie.cz/materialy/Milada_Rostejska/Biochem/index.htm.
- Roubal, J. 1994.** Duchcov. *Organická chemie a biochemie*. [Online] 1994. www.chesapeake.cz/chemie/download/skripta/organicka_chemie.pdf.
- 2015.** Rukověť molekulárního inženýra. *Molekulární inženýrství*. [Online] 2015. www.vscht.cz/anl/mag_moli/index.html.
- Ružičková, K. a Kotlík, B. 2009.** *Chemie v kostce*. Praha : Fragment, 2009. 80-253-0599-6.
- Sigma-Aldrich. 2016.** DIOP. [Online] 18.. 8. 2016. <http://www.sigmaaldrich.com/chemistry/chemistry-products.html?TablePage=16264054>.
- Sikorová, Z. 2007.** Návrh seznamu hodnotících kritérií pro učebnice základních a středních škol. [autor knihy] J. Maňák a P. Knecht. *Hodnocení učebnic*. Brno : Paido, 2007.
- Skalková, J. a kol. 1983.** *Úvod do metodologie a metod pedagogického výzkumu*. Praha : SPN, 1983. str. 314.
- Svoboda, J. 2005.** *Organická chemie I*. Praha : vyd. VŠCHT, 2005. 80-7080-561-7.
- Šrámek, V. 2000.** *Chemie obecná a anorganická*. Olomouc : autor neznámý, 2000. 80-7182-099-7.
- Štěpánek, P. 2009.** *Tvorba databáze otázek pro testování znalostí středoškolské biochemie*. Brno : Masarykova univerzita v Brně, 2009.

- 2011.** ŠVP Gymnázium Brno tř. Kpt. Jaroše. *Gymnázium Brno třída Kapitána Jaroše*. [Online] 12.. 3. 2011. <http://www.jaroska.cz/node/8>.
- 2011.** ŠVP Gymnázium Česká Třebová. *Gymnázium Česká Třebová*. [Online] 19.. 3. 2011. <http://www.gymnct.cz/svp>.
- 2011.** ŠVP Gymnázium Českolipská. *Gymnázium Českolipská*. [Online] 19.. 3. 2011. http://www.ceskolipska.cz/o-skole/ke-stazeni#Skolni_vzdelavaci_program.
- 2011.** ŠVP Gymnázium Františka Křižíka. *Gymnázium Františka Křižíka*. [Online] 10.. 3. 2011. www.gfk-plzen.cz/component/option,com_docman/task,cat_view/gid,39/Itemid,58.
- 2011.** ŠVP Gymnázium Hořice. *Gymnázium, střední odborná škola, střední odborné učiliště a vyšší odborná škola Hořice*. [Online] 16.. 3. 2011. www.ghorice.cz/w-svp-vg1.php.
- 2011.** ŠVP Gymnázium J. K. Tyla. *Gymnázium J. K. Tyla*. [Online] 19.. 3. 2011. <http://www.gjkt.cz/zakladni-dokumenty/svp>.
- 2011.** ŠVP Gymnázium J. Š. Baara. *Gymnázium J. Šv Baara*. [Online] 19.. 3. 2011. <http://gymdom.cz/predmety/chemie/ucivo>.
- 2011.** ŠVP Gymnázium Jana Keplera. *Gymnázium Jana Keplera*. [Online] 9.. 3. 2011. <http://old.gjk.cz/svp>.
- 2011.** ŠVP Gymnázium Jihlava. *Gymnázium Jihlava*. [Online] 12.. 3. 2011. <https://www.gymnaziumjihlava.cz/svp.html>.
- 2011.** ŠVP Gymnázium Jírovcova České Budějovice. *Gymnázium Jírovcova České Budějovice*. [Online] 12.. 3. 2011. www.gymji.cz/search.php?rsvelikost=sab&rstext=all-phpRS-all&rstema=10&stromhlmenu=10.
- 2011.** ŠVP Gymnázium Pardubice. *Gymnázium Pardubice*. [Online] 10.. 3. 2011. www.gypce.cz/files/dokumenty/SVP_4lete.pdf.
- 2011.** ŠVP Gymnázium Pierra de Coubertina. *Gymnázium Pierra de Coubertina*. [Online] 12.. 3. 2011. www.gymta.cz/studium/svp_2007.pdf.
- 2011.** ŠVP Gymnázium Písek. *Gymnázium Písek*. [Online] 19.. 3. 2011. <http://www.gymna-pi.cz/content/svp-%E2%80%93-skolni-vzdelavaci-program>.
- 2011.** ŠVP Gymnázium Trutnov. *Gymnázium Trutnov*. [Online] 9.. 3. 2011. www.gymnaziumtu.cz/cz/leve-menu/skola/skolni-vzdelavaci-program/c244.
- 2011.** ŠVP Gymnázium Třebíč. *Gymnázium Třebíč*. [Online] 10.. 3. 2011. www.gtr.cz/cz/dokumenty.php?id_rubriky=007.
- 2011.** ŠVP Masarykova střední odborná škola chemická v Praze. *Masarykova střední odborná škola chemická v Praze*. [Online] 16.. 3. 2011. www.mssch.cz/o-studiu/skolni-vzdelavaci-program/prehled-ucebnich-planu-oboru-vyucovanych-od-1.9.2009.

- 2011.** ŠVP Střední odborná škola služeb a obchodu. *Střední odborná škola služeb a obchodu České*. [Online] 16.. 3. 2011. www.ssvos.cz/ss/stahuj/svpap.pdf.
- 2011.** ŠVP Střední odborná škola Stříbro. *Střední odborná škola Stříbro*. [Online] 16.. 3. 2011. www.sosstribro.cz/svp-skolni-vzdelavaci-program.
- 2011.** ŠVP Střední průmyslová škola Brno. *Střední průmyslová škola Brno*. [Online] 16.. 3. 2011. <http://www.spschbr.cz/cs/o-studiu/ucebni-plany/>.
- Vacík, J., Antala a Čtrnáctová, H. 1995.** *Chemie pro první ročník gymnázií*. místo neznámé : SPN, 1995.
- Vacík, J. a kol. 1999.** *Přehled středoškolské chemie*. Praha : SPN, 1999. 80-7235-108-7.
- Vacík, J. a kol. 1990.** *Přehled středoškolské chemie*. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1990.
- Vašková, P. 2006.** *Selen v lidské výživě*. Brno : Masarykova univerzita, 2006.
- Veselý, P. a Bezkočka, K. 2008.** Pojiva na bázi polysiloxanů pro tepelně odolné nátěrové hmoty. *Povrchové úpravy*. [Online] 2008. <http://www.povrchoveupravy.cz/2008-03-clanek01.html>.
- Vícha, R. 2015.** Názvosloví organické chemie. *Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně fakulta Technologická*. [Online] 2015. www.chemie.utb.cz/rvicha/SOC/supportfiles/DOCS/organokovy.doc.
- Vondráčková, H. 2015.** Indukční a mezomerní efekt. *Stránky pro podporu výuky*. [Online] 2015. www.gvp.cz/~vondrackova/.../H-Indukční%20a%20mezomerní%20efek...
- VŠB-TU. 2015.** Nanotechnologie na VŠB-TUO. *Nanotechnologie*. [Online] 2015. nanotechnologie.vsb.cz/Historie/nano_historie.pdf.
- 2014.** Wikipedia. [Online] 13. 5 2014. en.wikipedia.org/wiki/Olefin_metathesis.
- Wikipedia. 2016.** Vitamín_B12. [Online] 18.. 8. 2016. https://cs.wikipedia.org/wiki/Vitamín_B12.
- Wunderlich, J., A. a Mellor, D., P. 1954.** *Acta Crystallographica* 7. 1954.

12 Seznam příloh

- Příloha 1: Sada testových úloh - zadání
- Příloha 2: Sada testových úloh – řešení
- Příloha 3: Dotazník pro účastníky semináře v rámci projektu Přírodní vědy a matematika na středních školách v Praze: aktivně, aktuálně a s aplikacemi.
- Příloha 4: Otázky k rozhovorům
- Příloha 5: Záznamy rozhovorů